

Etude des modifications de fertilité induites par une jachère arborée

Cas de la zone forestière de Centre Côte-d'Ivoire

R. Oliver, F. Ganry

Compte rendu de fin d'études d'une recherche financée
par le Ministère de la Recherche et de la Technologie

Décision d'aide n° 91 L 0564

Septembre 1994

SOMMAIRE

1.	le milieu d'étude.....	1
2.	matériels et méthodes.....	2
3.	résultats.....	3
3.1.	dynamique des litières des légumineuses arborées.....	3
3.2.	suivi de la phénologie des feuilles des <i>Ac. mangium</i> et <i>Ac. auriculiformis</i>	6
3.3.	état de la matière organique du sol sous les divers couverts arborés.....	8
3.4.	biodégradabilité des litières.....	10
3.5.	biodisponibilité de l'azote des feuilles d' <i>Ac. mangium</i>	11
3.6.	nodulation des légumineuses arborées.....	13
3.7.	production de bois et mobilisations minérales par la sole arborée.....	14
3.8.	état du sol après exploitation des parcelles arborées et culture du maïs..	15
3.8.1.	quantification des apports par les résidus d'abattage des arbres.....	16
3.8.2.	fertilité du terrain après exploitation de la sole arborée.....	17
3.8.3.	culture du maïs sur les parcelles avec ou sans précédent arboré.....	19
3.8.3.1.	essai "légumineuses 87".....	19
	première culture.....	19
	seconde culture.....	22
3.8.3.2.	essai "jachère arborée 88".....	23
	première culture.....	23
	seconde culture.....	26
4.	conclusion.....	26

CIRAD-CA 18/10/94
 Service des Publications, de
 l'Information et de la Documentation
 B.P. 5035
 34032 MONTPELLIER Cédex France
 Tél. 67 61 58 00 - Fax. 67 61 59 21

AVANT PROPOS

Ce document est le fruit de la collaboration des diverses équipes de recherche qui, unissant leurs compétences, ont cherché, à travers le terrain d'Oumé, à connaître le déterminisme et à quantifier les divers termes du bilan minéral de la pratique de la jachère arborée comme substitut de la culture itinérante sur brûlis. L'exploitation de l'ensemble des expériences conduites dans le cadre de cette recherche demande encore à être finalisée et, des divers chapitres de ce document seront extraits plusieurs articles à proposer pour publication dans des revues scientifiques spécialisées.

Nous tenons dès à présent à souligner la contribution des divers partenaires au travail présenté ici et les remercions très vivement pour leur participation .

Gestion des parcelles, conception et conduite des essais sur le terrain	G. GNAHOUA , P. BALLE, R. OLIVER, R. PELTIER
Observations sur la nodulation des légumineuses arborées	O. KOULOU, A. GALIANA, A. DUBOISSET
Phénologie des acacias	G. GNAHOUA, D. TILAK, A.M. DOMENACH
Etat de la matière organique des sols	C. FELLER
Biodégradabilité des matières organiques	R. OLIVER, J. ROMERO
Biodisponibilité de l'azote des feuilles d' <i>Acacia mangium</i>	R. OLIVER, J. ROMERO, A.M. DOMENACH, H. CASABIANCA
Bilan de la culture des légumineuses arborées	G. GNAHOUA, O. KOULOU, R. OLIVER
Bilan de la culture du maïs	G. GNAHOUA, R. OLIVER ,F. GANRY

Les termes et symboles utilisés dans ce document sont conformes au glossaire agronomique de l'azote du COMIFER (1987)x

BALLE Pitty ; GNAHOUA Guy ; KOULOU Oualou : Institut des Forêts (IDEFOR) - Recherche Agronomique en Zone Forestière.

08 BP 33 Abidjan 08 - Côte d'Ivoire

H. CASABIANCA : Laboratoire Central d'Analyses du CNRS

BP 22 - 69390 VERNAILLON

A. M. DOMENACH : URA CNRS 697 Laboratoire de microbiologie des sols. Batiment 741

43 Bd du 11 novembre 1918 - 69622 Villeurbanne Cedex.

FELLER Christian - ORSTOM LCSC (laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés).

BP 5045 - 34032 Montpellier Cedex

GALIANA Antoine ; PELTIER Régis - CIRAD Département Forêts - 45 Bis Av. de la Belle Gabrielle. 94 736 Nogent sur Marne Cedex.

DUBOISSET Arnaud (stagiaire) ; GANRY Francis ; OLIVER Robert ; ROMERO José ;

TILAK Dominique (stagiaire) ; - CIRAD - Département Cultures Annuelles.

BP 5035 34032 Montpellier

Selon l'UNESCO, la disparition de la forêt tropicale se poursuit à raison de 30 hectares par minute. Si l'agriculture itinérante n'est pas la seule responsable de ces pertes en terre, elle y contribue tout de même pour plus de 70 % (Mercier 1991) avec 17,5 millions d'hectares par an, d'où la nécessité de pérenniser l'agriculture dans les régions où la culture itinérante sur brûlis est actuellement la règle. F. Caillez (1993), reprenant les recommandations de la conférence de Rio (1992) sur l'environnement et le Développement souligne que la gestion des forêts tropicales, dont la responsabilité incombe aux pays qui en sont les détenteurs, doit viser simultanément la protection des fonctions assurées par cet écosystème et la production de biens et services concourant au développement. Parmi les outils proposés, il met en avant les techniques agroforestières dans la stratégie de mise en valeur agricole là où les agriculteurs sont implantés définitivement.

L'intensification de la production agricole est un des moyens permettant de freiner cette tendance mais elle n'est possible, par les voies habituelles, que pour un paysannat ayant le moyens d'investir ce qui n'est généralement pas le cas dans les pays tropicaux où des alternatives biologiques doivent être trouvées aux apports d'engrais. La recherche de ces alternatives est d'autant plus nécessaire que la pression démographique ne permet plus de respecter la durée de mise en jachère (20 ans environ) nécessaire pour régénérer la fertilité du sol entre deux périodes de culture (Ramade 1989). En effet, dans de nombreux cas l'équilibre entre la pression du groupe humain et le milieu ne permet plus sa régénération par le seul fait de la culture itinérante. Les années qui suivent la déforestation conduisent à un déclin rapide du "capital fertilité" des terres (Siband 1974) qu'il importe de stabiliser.

La plantation de légumineuses arborées destinées à la production de bois de "consommation courante", perches et charbon de bois notamment, tout en préservant ou en améliorant, la fertilité du terrain qui sera ensuite utilisé pour des cultures vivrières, pourrait contribuer à retarder la dégradation de la fertilité des terres nouvellement défrichées. L'objet de cette étude est d'approcher le bilan minéral d'un tel système et d'en quantifier les conséquences sur la fertilité des terres.

1. LE MILIEU D'ETUDE

Tableau I : caractéristiques analytiques du sol d'Oumé

COTE (cm)	0/10	10/20	20/30	30/40	40/50	50/60
Argile %	33,6	24,2	28,2	32,7	38,9	32,2
limons (2-50)	9,7	10,4	7,8	7,9	7,3	7,1
pH KCl	6,85	7,00	6,40	6,33	6,20	6,35
Ca	15,4	9,03	4,79	5,34	4,96	4,25
Mg	2,56	1,53	1,34	1,31	1,71	2,07
K	0,54	0,33	0,33	0,35	0,35	0,27
CEC ^(a)	15,80	8,60	6,15	6,28	6,10	6,23
P Olsen mg/Kg P ^(b)	30,5	13,4	8,8	11,0	12,5	16,8
Carbone %	3,01	1,41	0,82	0,87	0,93	1,00
Azote %%	2,94	1,30	0,75	0,74	0,90	0,80

complexe adsorbant : méthode cobaltihexammine résultats en mg/100 g

(a) Fallavier et coll. 1985 ; (b) Dabin 1967

Le dispositif expérimental a été implanté sur la station de la Sangoué à environ 12 Km d'Oumé dans une zone correspondant au front d'exploitation forestière de Centre Côte d'Ivoire.

Les sols de cette région sont de type "ferrallitique remanié" avec un horizon pierreux pouvant être situé juste sous l'horizon organiquesuperficiel (le pourcentage de cailloux et graviers peut atteindre 50%).

Les caractéristiques analytiques moyennes du sol prélevé dans une fosse pédologique située à proximité des essais (tableau I) montrent que ces sols sont relativement riches en matière organique. Leur texture est limono-argilo-sableuse, ce qui, avec la présence de gravillons, permet de bonnes conditions de drainage.

Le complexe adsorbant est convenablement fourni sur tout le profil et leur pH proche de la neutralité leur confère une fertilité chimique correcte. Ils sont bien pourvus en potassium échangeable mais très certainement carencés en phosphore.

Le climat y est de type subéquatorial à 2 saisons des pluies séparées par une courte saison sèche (août) plus ou moins marquée. La grande saison sèche s'étend de Novembre à Mars. La température moyenne annuelle est de 26,5°C avec un minimum de 24,5°C en Octobre et un maximum de 27,5°C en Mars (Clément 1970). La pluviométrie moyenne est de 1350 mm mais les fluctuations autour de cette moyenne peuvent être importantes. La campagne 1992 a été caractérisée par une pluviométrie de premier cycle très déficitaire.

2. MATERIELS ET METHODES.

Le dispositif de base a été mis en place en 1987 (ESSAI LEGumineuses 87) sur une parcelle d'ancienne culture (banane, riz, igname) envahie après abandon par une friche dominée par l'Eupatorium (*Chromolaena odorata*). Quatre espèces de légumineuses arborées ont été testées : *Acacia auriculiformis* AA, *Acacia mangium* AM, *Albizia lebbek* AL, *Leucaena leucocephala* LL. Une parcelle a été conservée en jachère naturelle TEM bien que l'ombrage des arbres environnants en ait limité le développement. Les arbres, issus de pépinières, ont été plantés à un écartement régulier de 2 m * 2m. Chaque espèce est présente

sur 9 bandes grossièrement parallèles à la pente du terrain.

Les caractéristiques dendrométriques des diverses espèces ont été régulièrement suivies pendant les 6 années de présence des arbres sur le terrain. En février 93 la sole forestière a été exploitée sur 6 des bandes et un essai agronomique a alors été implanté sur les parcelles ainsi libérées.

Le dispositif agronomique mis en place est de type factoriel à 2 niveaux : nature du précédent arboré (5 modalités : témoin ; AA ; AM ; AL ; LL) et type de gestion des résidus culturaux (mulch ou brûlis) combiné au niveau de chaque parcelle élémentaire à un split-plot

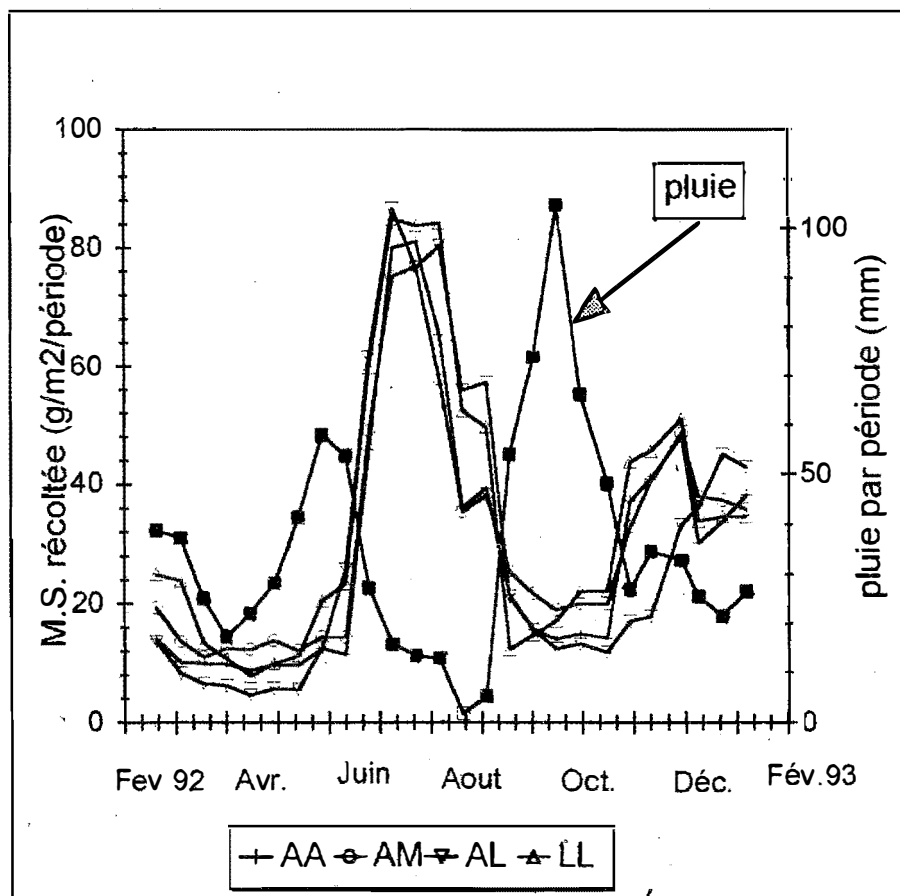


Figure 1: dynamique de la production de litière par 4 espèces de légumineuses arborées à Oumé (C.I.)

(fertilisation minérale ou non). Le maïs (variété locale "Ferké") est semé à la densité de $0,20 \times 0,80$ cm démarrié à 1 pied quelques jours après la levée. La fertilisation minérale des parcelles fertilisées est assurée au semis par apport sur la ligne d'engrais ternaire (10 - 18 - 18) à une dose équivalente à 48N, 108 P_2O_5 et 108 K_2O par hectare. Cette fertilisation est complétée à la montaison par apport de $85 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N sous forme d'urée (cf. plans en annexe I).

Un second dispositif, limitrophe du premier, mis en place en 1988 (ESSAI JACHÈRE ARBOREE 88) et dont l'objet était de comparer la production du maïs faisant suite à 3 modes différents de gestion des parcelles à aussi été utilisé pour notre étude. Ce dispositif à trois répétitions disposées en blocs comportait à l'origine 3 type de gestion des parcelles : (i) culture continue de maïs après défriche de la végétation d'origine, (ii) plantation d'*Acacia magium* à l'espacement de $3\text{m} \times 3\text{m}$ et culture du maïs tant que cela a été possible sous les arbres, (iii) parcelle laissée en jachère naturelle après une première culture "d'ouverture". Les diverses parcelles en *Acacia magium* ont été exploitées en Février 1993 et le perches et bois utilisables sorties des parcelles qui ont été, tout comme l'ensemble du terrain d'essai, brûlées pour les préparer à l'installation de la culture du maïs. Chaque parcelle élémentaire cultivée en maïs (cf. plans en annexe I), est incluse dans la surface anciennement cultivée, laissée en jachère ou plantée en arbre et a été divisée en deux parties dont l'une a reçu une fertilisation NPK et un apport supplémentaire d'azote à la montaison du maïs dans des conditions identiques à celles de l'essai précédent (dispositif split-plot en blocs de Fisher).

Plusieurs expériences périphériques ont complété les observations faites sur ce dispositif de base :

- un suivi de la nodulation sous les diverses espèces de légumineuses arborées effectué sur l'une des bandes non exploitées de la sole forestière ;

- préalablement à l'exploitation des parcelles en arbre, un suivi au cours de l'année de la dynamique de production des litières et une quantification des retombées minérales par le cycle biogéochimique des éléments minéraux. Ces observations sur le terrain ont été complétées par des analyses de terre afin de caractériser l'état de la matière organique sous les divers couverts ;

- en plus de ces expérimentations aux champs, des expériences en laboratoire ont eu pour objet d'étudier la "biodégradabilité" des litières de chaque espèce testée.

Le protocole utilisé pour chaque expérience est décrit lors de la présentation des résultats obtenus.

3. RESULTATS

3.1. DYNAMIQUE DES LITIÈRES DES LEGUMINEUSES ARBOREES. (annexe II)

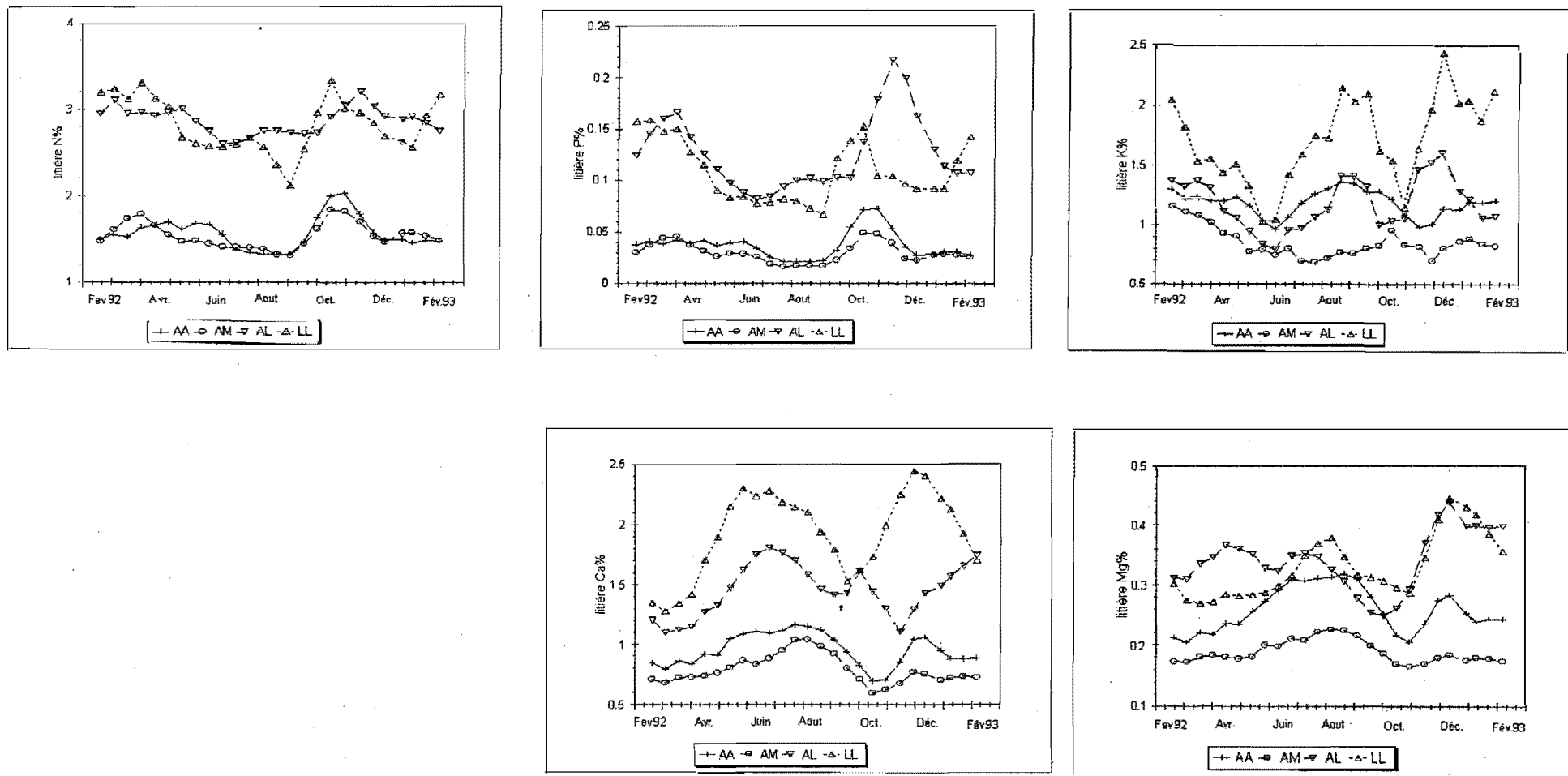
Les litières des diverses espèces arborées de l'essai "légumineuses 87" ont été collectées à intervalle à peu près régulier de 15 jours en installant sur le carré central de 6 des répétitions (bandes 1 à 6) un collecteur de "feuilles" constitué par une toile moustiquaire de $1\text{m} \times 1\text{m}$ montée sur un cadre et maintenu à une vingtaine de cm du sol entre Février 1992 et Février 1993.

La matière végétale récoltée est séchée à l'étuve à 80°C , pesée et transmise au laboratoire pour analyse. Pour en réduire le coût, l'analyse minérale a porté sur un échantillon moyen des 6 répétitions d'une même espèce (N, P, K, Ca, Mg) sauf pour le prélèvement du 28 novembre où les 24 parcelles échantillonnées ont été analysées séparément pour apprécier la variabilité de la composition minérale des matières récoltées. On n'a pas distingué les divers organes (feuilles, fruits, branches et brindilles) dans les échantillons collectés.

la variabilité (CV % des 6 répétitions) des quantités de "litière" collectée pour une même date et une même espèce est comprise entre 7 et 60% avec une moyenne de 30%. Les périodes de collecte où cette variabilité est élevée correspondent aux périodes de reprises des pluies (mai et octobre) ce qui s'explique vraisemblablement par les bourrasques précédant les orages de début de saison des pluies

La production de litière suit à peu près la même dynamique pour toutes les espèces. La représentation des moyennes glissantes sur 3 périodes de collecte des litières (fig. 1) permet de distinguer deux phases de forte production de litière, correspondant grossièrement aux périodes de sécheresse relative, que

Planche 1 : évolution des teneurs en éléments minéraux des litières de quatre espèces de légumineuses arborées à Oumé (C. I.)



séparent deux autres phases où la production est beaucoup plus faible. Pendant les mois de juin et juillet (sécheresse exceptionnelle) des bourrasques précédant les rares épisodes pluvieux et le stress hydrique peuvent expliquer en partie la production élevée de litière tandis qu'en décembre et janvier (début de saison sèche dans la zone) les litières sont en partie composées par les fruits des diverses espèces testées.

La sommation au cours de l'année permet des compensations entre quantités de litière collectée à deux dates successives et l'analyse de variance portant sur les quantités collectées à l'échelle de l'année figure au tableau II.

Tableau II : quantité de litière collectée à l'échelle de l'année selon les espèces de légumineuse arborée.

ELEMENT	AA	AM	AL	LL
Qt collectée (g*m ⁻² *an ⁻¹)	731 (a)	779 (a)	747 (a)	881 (b)

dispositif en blocs complets (6 blocs) ETR = 45,21 ; CV = 5,8%.

Deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newmans-Keuls à P = 0,05.

La production de litière est équivalente pour trois des espèces testées Elle est plus élevée d'environ 17% dans le cas de *Leucaena leucocephala* (LL). Les valeurs trouvées pour cette étude concordent avec celles d'autres auteurs (Bernhard-Reversat et coll. 1993).

La composition minérale des litières collectées a été déterminée pour chaque espèce sur un échantillon moyen constitué à partir des divers collecteurs. Pour juger de la variabilité dans la composition des produits collectés, l'un des prélèvements (26/11/92) a été entièrement analysé (tableau III).

Tableau III : teneurs en éléments minéraux des litières des espèces testées (prélèvement du 26/11/92). variabilité des résultats pour une date de collecte.

ELEMENT	AA	AM	AL	LL	ETR	CV %
N % ***	1,47 (b)	1,46 (b)	3,12 (a)	3,11 (a)	0,25	11,1
P %***	0,03 (c)	0,02 (c)	0,21 (b)	0,11 (a)	0,03	30,8
K %***	1,07 (c)	0,76 (d)	1,82 (b)	2,46 (a)	0,15	9,6
Ca %***	1,13 (bc)	0,80 (c)	1,34 (b)	2,76 (a)	0,32	21,5
Mg %***	0,32 b	0,19 (c)	0,50 (a)	0,46 (a)	0,04	10,6

dispositif en blocs complets (6 blocs). Deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newmans-Keuls à P = 0,05. *** significatif à P = 0,001

Le CV élevé obtenu dans le cas de P est dû aux faibles teneurs des litières des *Acacia* (limitations analytiques). Dans le cas du calcium, il est dû à la variabilité des teneurs des litières d'*Albizzia* et *Leucaena* peut-être à cause de la présence de "fruits" en quantités variables selon les prélèvements.

La composition minérale des litières collectées évolue au cours de l'année (planche 1 : moyenne glissante sur trois prélèvements des teneurs en N, P, K, Ca et Mg des litières collectées) et les différences de composition entre espèces sont nettes :

- **les teneurs en azote et phosphore** sont beaucoup plus élevées pour les litières de *Leucaena* et *Albizzia* que pour celles des deux espèces d'*Acacia* (respectivement 2,5 et 0,15% dans un cas et 0,15 et

0,05% dans l'autre). La variation des teneurs au cours du temps ont des allures très comparables avec 2 maxima, le premier en début de grande saison sèche et le second au cours de la petite saison pluvieuse. L'augmentation des teneurs en azote des litières en octobre et novembre est commune à toutes les espèces testées. Les litières d'*Acacia* sont particulièrement pauvres en phosphore, élément qui, selon les analyses de terre est très limitant dans le cas des sols de la région d'Oumé.

Pour **AM** et **AA**, la comparaison des compositions minérales des feuilles relativement âgées mais présentes sur les arbres à celles des feuilles venant naturellement de tomber montre que, pendant la période de sénescence, la teneur des feuilles en N, P et K chute de plus de 25%. Toutefois, ce résultat acquis sur seulement quelques analyses demanderait à être confirmé par une étude systématique ;

- **les teneurs en potassium** des litières varient aussi de façon cyclique au cours du temps ; l'amplitude des variations dépendant fortement des espèces. Ces teneurs sont les plus basses en cours de saison pluvieuse (juin et fin octobre) et les variations observées pourraient être le fait du pluviollessivage des litières entre la chute et la collecte des produits la composant. D'ailleurs, c'est pour la litière la plus facilement décomposable (*Leucaena*) que la variation au cours de la saison est la plus marquée.

- **les teneurs en calcium et magnésium** ont des évolutions parallèles et qui, au contraire de celles en potassium, sont les plus fortes au moment des épisodes les plus pluvieux.

Le cumul des quantités de litières collectées au cours de l'année permet d'évaluer les retombées minérales pour chaque espèce (tableau IV). Les analyses n'ayant porté que sur des échantillons moyens les valeurs observées ne peuvent pas être analysées statistiquement mais certaines différences sont tout de même très nettes. La pauvreté relative des litières des deux espèces d'*Acacias* est confirmée. Pour **AL** et **LL** les apports d'azote sont d'environ 240 kg* ha⁻¹ ce qui est conséquent si on se réfère aux apports habituels par les engrais.

Tableau IV : retombées minérales par les litières de légumineuses arborées à l'échelle de la parcelle.

ELEMENT	AA	AM	AL	LL
N g/m2	11,9	12,86	23,25	26,64
P g/m2	0,236	0,220	0,917	0,965
K g/m2	9,81	7,07	9,60	17,29
Ca g/m2	8,21	7,12	13,29	19,45
Mg g/m2	2,25	1,67	2,91	3,37

Les quantités de phosphore sont comprises entre 5 et 21 kg*ha⁻¹ P₂O₅ et donc restent relativement faibles, celles de potassium sont comprises entre 85 et 210 kg*ha⁻¹ K₂O, valeurs qui sont certainement sous-estimées car les "pertes" par pluviollessivage des litières, qui peuvent atteindre des proportions non négligeables dans le cas du potassium n'ont pas été prises en compte.

Tous ces apports correspondent à la fertilisation annuelle habituellement recommandée pour des cultures vivrières dans un système très intensif et ne peuvent donc certainement pas contribuer à un maintien à long terme de la fertilité minérale des sols. En effet, en supposant que les retombées minérales mesurées soient "reproductibles" pour des peuplements ayant atteint leur maturité, elles correspondent aux mobilisations d'une à deux cultures de maïs successives. De plus, les apports minéraux par les litières sont naturellement appauvris en phosphore qui est l'élément le plus limitant dans les sols de la région d'Oumé

et une partie importante est recyclée par l'arbre pour satisfaire ses propres besoins en éléments minéraux. En fait le rôle le plus important des retombées de litière à partir des légumineuses arborées est certainement la modification des propriétés physiques et le maintien d'une activité biologique conséquente liée à l'intégration au sol d'environ 8 à 9 t*ha⁻¹ an⁻¹ pour toutes les espèces testées.

En effet, le prélèvement de litière, effectué sur une surface de 1m² au moment de la mise en place des essais vivriers, donc qui intègre les produits issus de l'exploitation de la parcelle arborée, situe les quantités de matière organique présentes sur les parcelles entre 10,2 et 4,4 t*ha⁻¹ selon l'espèce d'arbre ce qui montre qu'il n'y a pas eu d'accumulation de matière organique "non décomposée" au cours des 6 années de présence des légumineuses arborées sur le terrain.

3.2. SUIVI DE LA PHENOLOGIE DES FEUILLES DES *ACACIA MANGIUM* ET *AURICULIFORMIS*

Le suivi de la chute des litières des diverses espèces a été complété pour *Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis* par une expérience dont l'objet principal est de connaître la dynamique d'apparition et de chute des feuilles dans les conditions climatiques d'Oumé.

Cette expérience a été mise en place en août 92 et le suivi a été fait sur 3 branches respectivement situées en position basse, médiane et haute de 2 arbres de chaque espèce âgés de 6 mois.

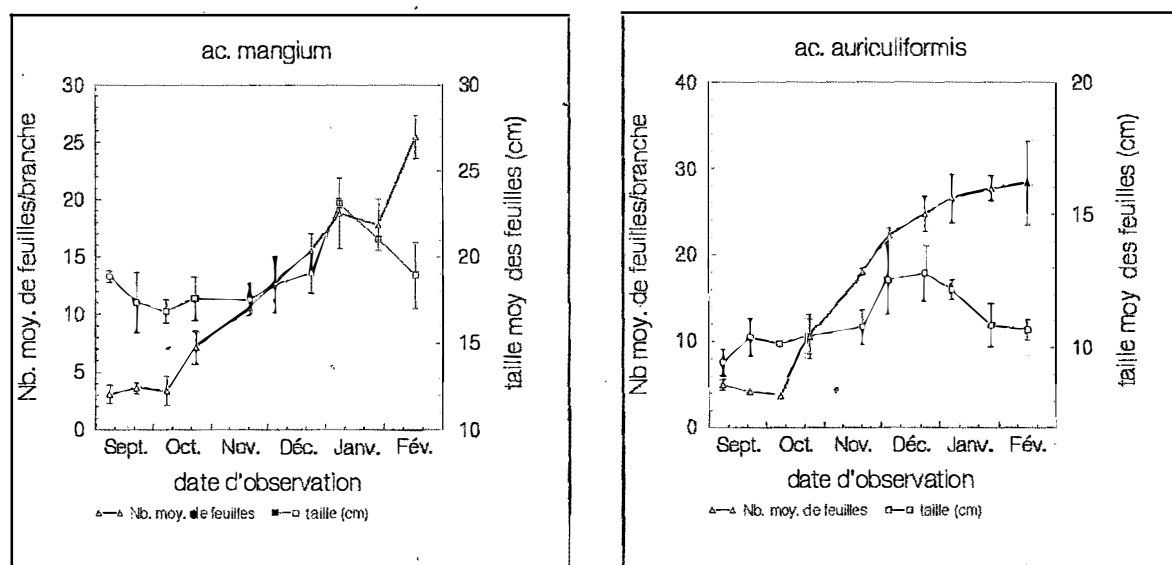


figure 2 : dynamique de l'apparition des feuilles (moyenne et écart type) sur les arbres suivis dans l'expérience "phénologie" *Ac. mangium* et *auriculiformis* (janvier à novembre)

Les feuilles apparaissant sur ces branches marquées et ayant atteint la taille de 10 cm pour *Ac. mangium* et 5 cm pour *Ac. auriculiformis* ont été mesurées et repérées par des rubans plastifiés se référant à un code de couleurs correspondant à une période donnée. Le nombre de feuilles présentes sur la branche a été noté et les feuilles marquées tombées de l'arbre ont été collectées.

En fait, ce suivi s'est déroulé en 2 temps : le premier correspond essentiellement à la période de marquage des feuilles (mi-août début février) et le second à celui de la collecte des feuilles tombées au pied des arbres. On peut ainsi tracer d'abord les courbes d'évolution de la taille et du nombre de feuilles sur les branches (figure 2), puis en calculant (à partir des périodes de marquage et de collecte des feuilles à terre) le temps moyen de séjour sur l'arbre des feuilles apparues pendant une période donnée juger des

différences de "durée de vie" des feuilles selon leur date d'apparition :

délai d'apparition des feuilles - On note, pour les deux espèces, un temps de latence d'environ un mois entre la date de marquage de la branche et l'augmentation du nombre de feuilles qu'elle porte. Il faut peut être rechercher la cause de ce décalage dans la pluviosité du site car l'expérience a débuté pendant la courte période sèche séparant les deux saisons des pluies ;

nombre stabilisé de feuilles par branche - à la date d'arrêt des marquages de feuilles (06/02/93), le nombre de feuilles présentes sur la branche commence à se stabiliser pour *ac. auriculiformis* aux environs de 30 feuilles tandis qu'il continue à augmenter pour *ac. mangium* dont le nombre de feuilles est d'ailleurs voisin de celui de l'autre espèce suivie ;

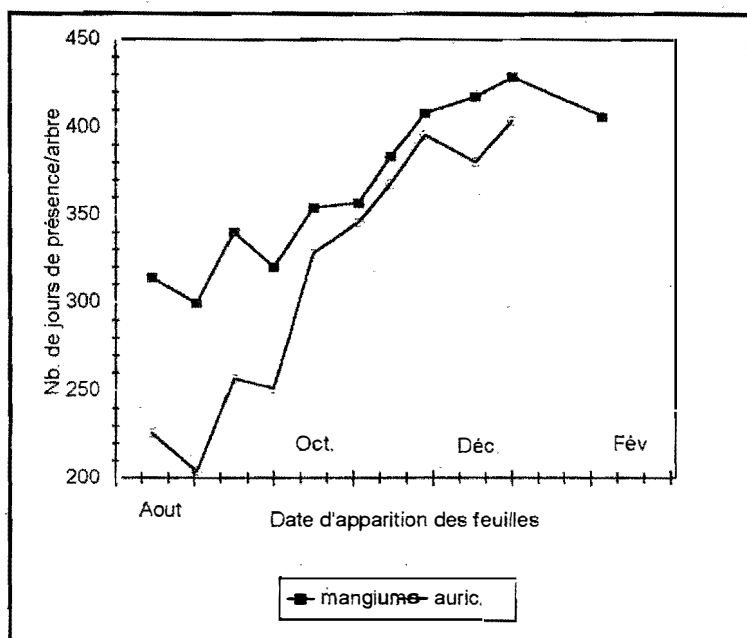


Figure 3 : durée moyenne de présence sur l'arbre des feuilles selon leur date d'apparition

rythme de formation des feuilles - le nombre de feuilles formées par unité de temps est plus important pour *ac. auriculiformis* que pour *ac. mangium* et la période la plus intense pour la formation des feuilles va de mi-Septembre à mi-Octobre ;

évolution de la taille des feuilles - la taille de chaque feuille présente sur la branche ayant été mesurée, on a calculé la taille moyenne (en cm) des feuilles de chaque espèce.

Cette taille augmente assez régulièrement, si l'on tient compte de l'incertitude sur les mesures, de 7 à 12,5 cm environ pour *ac. auriculiformis* entre le début des observations et la mi-Décembre puis diminue (par chute des feuilles les plus grandes qui étaient déjà présentes sur l'arbre au début des mesures) jusqu'à atteindre 10,5 cm environ au mois de février 93. Pour *ac.*

mangium la taille des feuilles est en moyenne de 16 cm au début des observations, elle augmente jusqu'à plus de 25 cm en Décembre (fin de petite saison pluvieuse) et diminue ensuite pour les trois dernières observations ;

durée de présence de feuilles sur l'arbre - les observations sur la chute des feuilles marquées n'ont commencé qu'en Février 93 (pas de feuilles à terre avant cette date) et ont cessé en fin Novembre. A cette date, toutes les feuilles marquées n'avaient pas encore été collectées, aussi les résultats sur le temps de présence des feuilles sur l'arbre sont-ils estimés par défaut. La figure 3 présente, pour les 2 espèces suivies, la durée de vie moyenne des feuilles (qui ont été collectées) en fonction de leur date d'apparition sur la branche. Selon ce graphe, et malgré la forte variabilité associée aux observations, on note que les feuilles apparues le plus tardivement ont un temps de présence sur l'arbre plus long que celles apparues les premières sur les branches surtout pour *Ac. auriculiformis*. Pour les feuilles apparues le plus tardivement, le temps de présence sur la branche a tendance à se stabiliser, pour les deux espèces, autour de 400 jours. L'écart entre les temps de présence extrêmes, 200 jours pour *auriculiformis* et 300 pour *mangium* au minimum et plus de 400 jours au maximum pour les deux espèces, n'est pas explicable par les variations thermiques pendant la période concernée. La durée de vie des feuilles comprend

toujours au moins une période de nodulation active de ces deux espèces (juillet à septembre pour AM et mars pour AA).

3.3. ETAT DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL SOUS LES DIVERS COUVERTS ARBORES.

La caractérisation de la matière organique formée sous les divers couverts arborés de l'essai "légumineuses 87) a été faite par le laboratoire des sols cultivés de l'ORSTOM (C.Feller) sur des échantillons composites constitués par mélange de carottes prélevées en décembre 1992 (5 ans de présence des arbres sur le terrain) sur les diverses parcelles et à plusieurs profondeurs (couches 0-5 cm ; 5-10 cm ; 10-20cm et 20-30 cm). La technique de caractérisation employée est dérivée de celle décrite par Feller et coll. (1991) et met en oeuvre une désagrégation et une dispersion des éléments fins à l'aide d'une agitation du sol dans l'eau en présence de billes de verre et d'héxamétophosphate de sodium (HMP) puis d'une ultrasonification (US) des particules de taille inférieure à 50 μm . La séparation physique des fractions est faite par tamisage pour les fractions 2000-200 μm ; 200-50 μm et 50-20 μm et par sédimentation centrifugation pour les fractions 20-2 μm et 2-0 μm . Sur chaque fraction les teneurs en azote et carbone ont été déterminées à l'aide d'un auto-analyseur CNLECO.

Cette méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique (FGMO) est de plus en plus répandue (Christensen 1992) et permet de distinguer, en première approximation, 3 types de compartiments organiques (Feller 1993)

- les fractions > 20 μm (ou 50 μm) constituées essentiellement de débris végétaux à divers degrés de décomposition (rapport C/N voisin de 20)
- les fractions 2-20 μm correspondant aux complexes organo-limoneux dont la MO est sous forme de débris végétaux et fongiques et de MO très humifiée intégrée dans de micro-agrégats stables (rapport C/N voisin de 15) ;
- les fractions 0-2 μm dont le compartiment organo-argileux est essentiellement sous forme intimement associée à la matière minérale et d'origine partiellement bactérienne.

Les résultats détaillés de cette étude figurent en annexe III. Pour en faciliter la présentation, les fractions de taille supérieure à 20 μm ont été regroupées par calcul en une seule fraction 20-2000 μm après vérification en microscopie optique : (i) de l'absence d'agréats dans ces fractions et (ii) du caractère figuré végétal dominant de la matière organique de ces fractions.

Les teneurs en C des fractions (C : $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de la fraction) varient entre 19 et 39 pour les fractions 20-2000 μm ; 78 à 96 pour 2-20 μm et 31 à 34 pour 0-2 μm . On constate donc des variations beaucoup plus fortes pour les "débris végétaux" que pour les fractions organo-minérales de taille inférieure à 20 μm et une teneur constante des fractions organo-argileuses.

Le bilan carboné du fractionnement est satisfaisant avec un taux de recouvrement du carbone du sol non fractionné (dosé par ailleurs) de 90 à 100,7% pour les couches jusqu'à 15 cm. Seul le bilan de la couche la plus profonde et la moins riche en carbone présente un bilan inférieur à 90 % mais, dans ces cas les teneurs en carbone sont telles que la sensibilité des dosages peut être mise en cause.

La variation des contenus en carbone du sol selon la profondeur a été étudiée sur les échantillons prélevés sous jachère naturelle à dominance d'eupatorium (figure 4a). Elle est très importante entre 0-5 et 5-10 cm, et est due, pour l'essentiel, aux fractions de taille supérieure à 2 μm , ce qui met en évidence l'importance de ces fractions dans la dynamique de la matière organique des horizons les plus superficiels. Pour les couches prélevées en deça de 20 cm, la part de la matière organique associée aux fractions grossières devient faible par rapport au carbone total de la couche. Le rapport C/N des fractions organiques les plus grossières est environ deux fois plus élevé que pour les deux autres fractions.

Les diverses espèces testées (fig. 4b) ne montrent pas de différences importantes dans les quantités de

carbone contenues dans la couche superficielle (0-5cm). En effet, on peut considérer que les variations observées sur le carbone total (ou la somme des diverses fractions) sont de l'ordre de la variabilité due à l'échantillonnage et aux analyses d'autant plus que le fort gradient de teneur observé entre les diverses couches échantillonnées entre la surface et 30 cm est très important.

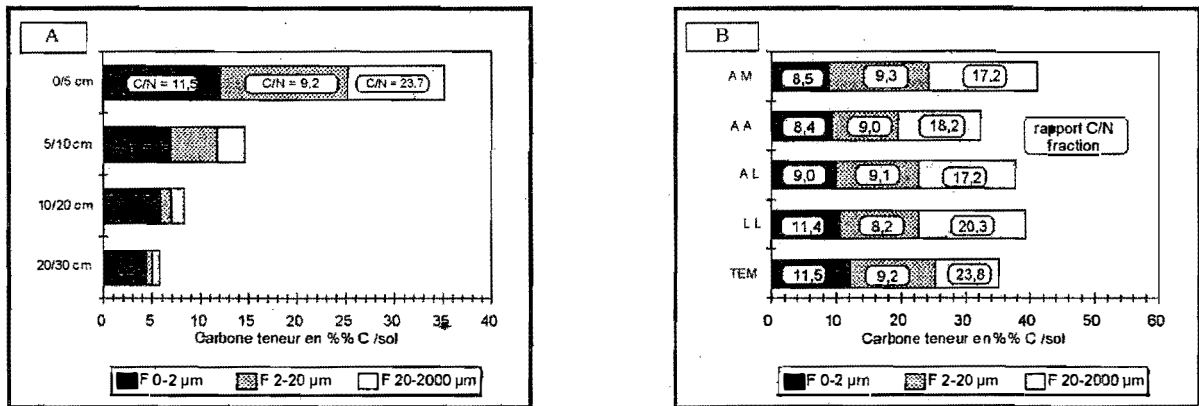


Figure 4 : répartition du contenu en carbone du sol (mg de C/g de sol) pour les diverses fractions granulométriques

A) répartition selon la profondeur (cas de la parcelle en jachère spontanée)

B) répartition dans la couche superficielle (0-5 cm) pour les diverses espèces testées.

En première approximation, nous considérons que, sur un plan quantitatif et pour une durée de présence des arbres sur le terrain de 5 ans, il y a peu d'effet du type de légumineuse plantée sur le statut organique du sol, la jachère spontanée ayant d'ailleurs un effet équivalent à celui d'une légumineuse arborée.

Quelle que soit l'espèce végétale testée, les teneurs en carbone des horizons de surface restent élevées et probablement proche de celles de la forêt initiale. En effet, si l'on considère la situation en jachère naturelle (*Chromolaena odorata* dominant) le calcul pour la couche 0-10 cm conduit à une teneur de 29,4 mg C g⁻¹ de sol, valeur qui est proche de celle estimée (25) à partir d'un inventaire de nombreuses

situations tropicales en prenant en compte la texture et la pluviométrie (Feller 1991) alors que la valeur correspondante pour un sol sous culture serait de 15 mg C g⁻¹.

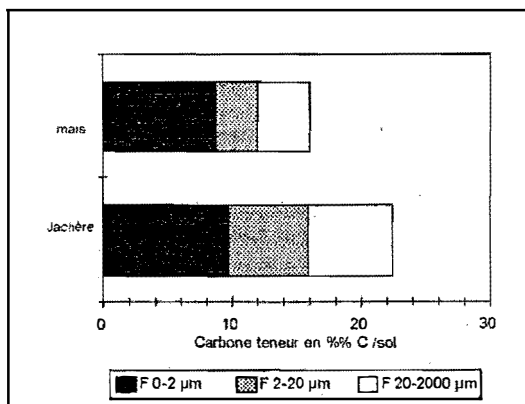


Figure 4c : effet de la culture continue de maïs sur la MO (0/15 cm) de l'essai Jachère arborée 88).

que sous maïs (fraction 50/200 µm).

Les prélèvements effectués sur l'essai "Jachère arborée 88" ont permis de comparer l'état de la matière organique sous jachère naturelle et sous culture continue de maïs (fig. 4c). La différence essentielle porte sur les quantités de matière organique associée aux agrégats de taille > 2 µm qui est, par rapport au sol, deux fois plus importante sous jachère que sous culture continue. On remarque aussi la valeur relativement stable des quantités de carbone associées à la fraction argileuse du sol.

Le rapport C/N de ces fractions est aussi plus important

3.4. BIODEGRADABILITE DES LITIERES. (Annexe IV)

La biodégradabilité des litières des diverses espèces a été testée au laboratoire par incubation à l'étuve à 30°C des feuilles grossièrement broyées avec de la terre prélevée en bordure de l'essai, selon une méthode inspirée de D. O. Nyamai (1991). La terre fine provenant de la couche 0-15 cm est incubée à 30°C sans apport de matière végétale ou en présence de 1% (en poids) de matière végétale (feuilles séchées grossièrement broyées des diverses espèces testées). Le mélange "terre- matière végétale" est placée dans des seringues de capacité 50 ml, elles mêmes placées dans des pots en plastiques qui peuvent être hermétiquement clos pour y piéger le CO₂ dégagé. L'humidité est maintenue proche de la capacité aux champs et la terre percolée toutes les semaines par 250 ml d'eau distillée, puis ressuyée par une légère succion sous vide (environ 300 mbar) avant une nouvelle période d'incubation. L'expérience est conduite en 5 répétitions pendant 8 semaines. L'indicateur de biodégradabilité des produits incorporés est la production nette de CO₂ pour les divers traitements (tableau V).

Tableau V : pourcentage apparent de carbone des feuilles "respiré" en 8 semaines.

espèce	AA	AM	AL	LL
C % "respiré"	26,2	23,9	49,7	38,8

Les feuilles des deux espèces d'acacia sont, selon le critère choisi, beaucoup plus résistantes à la dégradation que celles de LL et surtout celles de AL. Cela traduit certainement des différences de composition de leur parenchyme qu'il serait intéressant de préciser.

Ces différences de "biodégradabilité" sont sensibles sur le terrain, d'une part par la quantité de litière présente sur le sol, d'autre part par l'état de surface qui est bien plus meuble pour les parcelles sous AL et LL que sous celles sous les deux espèces d'Acacia. Toutes ces observations ne corroborent pas les résultats obtenus dans l'analyse de la matière organique. Tout en remarquant que les comparaisons effectuées sur la nature de la matière organique portent sur la tranche 0-5 cm et que le gradient de teneurs dans cette zone, peut, du fait des difficultés de prélèvement, masquer des différences entre espèces, on peut aussi arguer que l'expérience d'incubation d'un matériel végétal frais met en avant l'aspect dynamique de l'évolution des divers produits alors que l'analyse caractérise un état d'équilibre à assez long terme de ces produits qui auraient donc des états d'équilibre comparables mais atteints avec des dynamiques différentes.

Ces différences de biodégradabilité sont signalées par D.O. Niamay (op.cité) qui souligne la forte dégradabilité des résidus de *L. leucocephala* parmi ceux qu'il a étudiés. De même, Budelman (1988) dans une expérience de décomposition *in situ* en Côte d'Ivoire a calculé la demi vie de mulchs de différentes espèces et la relie à la "digestibilité" *in vitro* par les techniques de caractérisation des fourrages. Gutteridge (1992) dans une expérience en pots, met en cause la présence de tanins dans les mulchs d'*Ac. cunninghamii* et de *Callandria* pour expliquer la faible réponse du maïs.

Dans notre expérience, les feuilles utilisées présentaient un rapport C/N très différent selon les espèces (18 et 21 pour les *Acacia* et 12 à 13 pour les deux autres espèces) et les produits les plus rapidement "biodégradés" sont ceux à faible rapport C/N, soulignant ainsi l'importance de la nature chimique des matières premières dans le processus de minéralisation de la matière organique.

Dans cette même expérience, on a suivi la production d'azote minéral par analyse des percolats recueillis lors des phases de lixiviation (tableau VI). Le bilan apparent après 84 jours d'expérience fait apparaître, par rapport au témoin sans incorporation de matière végétale, une immobilisation nette de l'azote du sol dans le cas des feuilles d'acacia et une minéralisation nette pour les 2 autres espèces.

Tableau VI : bilan apparent de l'azote apporté par les feuilles des espèces testées en 8 semaines d'incubation.

	Témoin	AA	AM	AL	LL
N-minéral "lixivié" mg *Kg ⁻¹ % apparent de miné. de N des feuilles	119,6 -	78,6 - 15,2	86,7 - 14,2	226,4 27,4	177,4 15,9

La différence de rapport C/N et/ou de nature des produits composant les feuilles conduit donc à des résultats très différents quant aux conséquences de l'enfouissement des matières végétales sur la dynamique de l'azote. Dans un cas, on augmente les quantités d'azote minéral en solution, donc la possibilité d'utilisation par les plantes mais aussi celles de lixiviation et par voie de conséquence d'acidification à long terme, tandis que dans l'autre on diminue la capacité du sol à fournir de l'azote aux plantes mais aussi, en augmentant, peut-être, les réserves d'azote du sol utilisables à moyen terme.

3.5. BIODISPONIBILITE DE L'AZOTE D'UNE LEGUMINEUSE ARBOREE.

La biodisponibilité de l'azote contenu dans les feuilles d'*Acacia mangium* a été étudiée en vases de végétation. La plante test utilisée est du ray-grass (*Lolium perenne*) semé à raison de 300 mg de graines par pot, et le sol celui d'Oumé (0-15 cm) ayant reçu une fertilisation sans azote et auquel on a incorporé par pot (200 g de terre) 1g de feuilles d'*Acacia mangium* grossièrement broyée et enrichie^a en ¹⁵N. Cinq traitements ont été testés en quatre répétitions, les pots étant répartis aléatoirement sur la table de culture.

- sol incubé pendant 8 semaines sans feuilles d'AA (θ 30°C ; H 2/3 CMR) puis semé (ONN) ;
- sol incubé pendant 8 semaines avec les feuilles d'AA puis semé (OOO) ;
- feuilles d'AA incorporées au moment du semis au sol incubé 8 semaines (ONO) ;
- sol non incubé, sans incorporation de feuilles d'AA et semé (NNN) ;
- sol non incubé avec incorporation de feuilles d'AA au semis (NNO) .

Les vases reçoivent, au moment du semis, une fertilisation phospho-potassique (mélange PO₄H₂K, PO₄HK₂ apportant 12,4 mg de P et 23,4 mg de K par pot). Après semis du ray-grass, les vases sont placés à l'étuve à 30°C, puis transférés dans la chambre de culture. L'humidité est maintenue aux 2/3 de la CMR (Chaminade et coll. 1965) par pesée quotidienne et réajustement avec de l'eau distillé. Une première coupe est effectuée 2 semaines après la levée (la date de coupe a dû être avancée suite à un incident de régulation thermique de la chambre de culture). Une seconde coupe a été effectuée 3 semaines après la première. A chaque coupe, la matière sèche "récoltée" a été pesée et sa teneur en azote ainsi que son abondance isotopique ont été déterminées.

Les teneurs en carbone et azote des feuilles d'Ac. mangium utilisées sont respectivement de 53,2 %C et de 1,46 %N (rapport C/N = 36). Le bilan de la culture pour les divers traitements de l'essai en vases est présenté au tableau VII

^a - Cette matière végétale a été obtenue après culture d'*Acacia auriculiformis*, obtenu par semis sur un sol ayant reçu un apport d'urée enrichie à 5% de ¹⁵N. Les jeunes plants ont été sacrifiés après 5 mois et les feuilles ont été séchées puis utilisées pour l'essai en vases de végétation.

Tableau VII : matière sèche (mg/pot), teneur en azote (%N) et abondance isotopique de chaque coupe (valeurs moyennes des 4 répétitions)

TRAIT.	première coupe			seconde coupe		
	MS/pot	%N	A%	MS/pot	%N	A%
NNN	367	4,14	0,3699	446	1,26	0,3685
NNO	339	2,98	0,4025	369	1,27	0,4097
ONN	460	5,46	0,3704	451	1,32	0,3689
ONO	451	4,53	0,3787	322	1,25	0,3986
OOO	430	4,91	0,4431	377	1,26	0,4320

On remarque tout d'abord l'abondance isotopique élevée des plantes cultivées sans apport de matière organique par rapport à l'abondance isotopique naturelle de l'air ($\delta^{15}\text{N}^b = 10,58$ en première coupe et 6,58 en seconde coupe) ce qui indique l'intérêt des méthodes basées sur L'AINA pour quantifier la fixation biologique sur ce terrain, d'autant plus que la baisse de $\delta^{15}\text{N}$ entre les deux coupes, à confirmer dans une expérimentation spécifique, indique une variation dans la nature des pools d'azote "récupéré" par la plante. Les faibles teneurs en N observées pour la seconde coupe montrent qu'à ce stade, la demande en azote par la plante est très supérieure à l'offre du sol et donc qu'il n'était pas possible de poursuivre la culture. L'analyse statistique portant sur les données individuelles de l'essai (Annexe V) met en évidence une immobilisation nette de l'azote du fait de l'incorporation des feuilles d'AA, qui se traduit par un effet dépressif sur les quantités de matière sèche produite et surtout d'azote mobilisé par la culture, que ce soit de l'azote total ou qu'il provienne de ^{15}N (sol et/ou feuilles d'AA). Cet effet dépressif de l'enfouissement de matières végétales à rapport C/N élevé, est supérieur au seuil critique compris entre 20 et 25 signalé par Domergues (1970) au delà duquel apparaît le phénomène de faim d'azote. On remarquera tout de même que l'incubation préalable de 2 mois des feuilles d'AA ne permet pas de rendre disponible pour la plante des quantités d'azote équivalentes à celle du sol incubé sans apport de matière végétale (trait. **ONN** : 132 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ contre trait **OOO** : 105 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), tandis que pour l'azote ^{15}N les quantités prélevées pour les mêmes traitements sont statistiquement équivalentes ce qui pourrait être interprété comme un signe d'inversion de la tendance : en présence de feuilles d'*Ac. mangium*, le cycle interne de l'azote est délibérément orienté vers l'immobilisation.

On peut, à partir des résultats moyens de traitements au passé différant seulement par l'incorporation de la matière végétale, calculer les Ndff et "CRU" de la matière organique incorporée au sol pour les diverses situations prises en compte (tableau VIII).

Tableau VIII : coefficients réels d'utilisation (CRU) de l'azote des feuilles d'AA et azote du ray-grass provenant de la matière organique pour chaque coupe (Ndf_MO)

SOL	MO	Ndf_MO (%)		CRU (feuilles AA) %		
		C 1	C 2	C 1	C 2	ENS.
non incubé	non incubé	2,52	3,18	0,96	1,02	1,98
incubé	non incubé	0,64	2,29	0,52	0,47	1,00
incubé	incubé	5,61	4,86	6,27	1,58	7,85

Même si l'on peut émettre des réserves sur la validité théorique du calcul de Ndf_MO (homogénéité du marquage des diverses espèces chimiques du produit utilisé) et donc des "CRU" calculés, on remarque la très faible utilisation par le ray-grass de l'azote des feuilles enfouies. Cette utilisation est pratiquement négligeable quand la matière végétale n'a pas été incubée et est de l'ordre de grandeur des valeurs signalées par Guiraud (1984). Il est vraisemblable que la prolongation du temps d'incubation avant la mise en place de la plante test aurait abouti à une meilleure utilisation de l'azote des feuilles d'AA par cette

^b $\delta^{15}\text{N}$: expression de l'abondance isotopique selon les termes du glossaire COMIFER (1987)

dernière.

En conclusion, ce test en vases de végétation, démontre la nécessité, pour gérer avec efficacité la récupération de l'azote contenu dans les litières apportées au sol par une légumineuse arborée, de connaître les dynamiques respectives de l'offre en azote disponible par la dégradation des matières végétales provenant des arbres et de la demande en azote des cultures mises en place sur le terrain. Si les contraintes techniques ne permettent pas d'accorder au mieux ces dynamiques (temps de travaux, pluviosité) on pourra rechercher des solutions par le biais de l'intégration des animaux domestiques dans la stratégie de gestion de la parcelle (choix de légumineuses fourragères, passage par le fumier) ou dans le passage des résidus sous la forme de compost ce qui, en différant les tâches, réduit les contraintes techniques à l'adoption du système par les paysans.

3. 5. NODULATION DES LEGUMINEUSES ARBOREES.

La nodulation des arbres a été suivie au cours d'une année par prélèvement sur 5 arbres de l'une des bandes de l'essai. La méthodologie utilisée pour ce suivi a fait l'objet d'une mise au point spécifique et les conditions expérimentales retenues sont les suivantes :

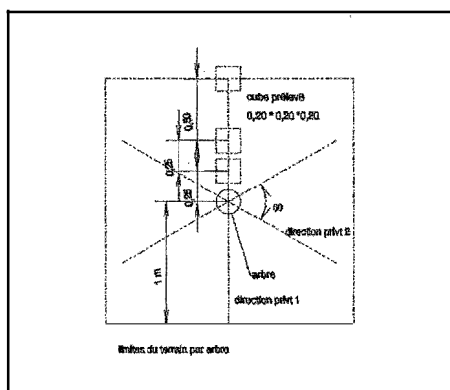


figure 5 : schéma de prélèvement pour le suivi de la nodulation des arbres

- prélèvements successifs effectués selon des rayons ayant pour centre un arbre et faisant un angle de 60° à la distance de 25, 50 et 100 cm de l'arbre (Cf. fig. 5) ,

- volume d'un prélèvement élémentaire : 20 cm * 20 cm * 20 cm (4 sondages à la tarière "à prélèvements racinaire" et collecte de la terre présente entre les trous de sondage) ,

- mise en place des nodules (et des racines les portant) dans des flacons sérum de 250 ml contenant 10% de C_2H_2 pour détermination de l'ARA (activité réductrice d'acétylène - HARDY 1968),

- prélèvement des gaz formés pendant 1/2 heure et une heure après le prélèvement,

- transfert des "vénojects" contenant les gaz formés et des flacons sérum contenant les nodules au laboratoire pour analyse de C_2H_4 et caractérisation des nodules (nombre, poids sec).

La méthodologie utilisée autorise 6 dates de prélèvement autour de chaque arbre choisi et donne lieu à 15 sondages par espèce et par date de prélèvement. Le volume de terre échantillonné est relativement important puisqu'il représente 7,5% de celui disponible pour un arbre dans la tranche considérée.

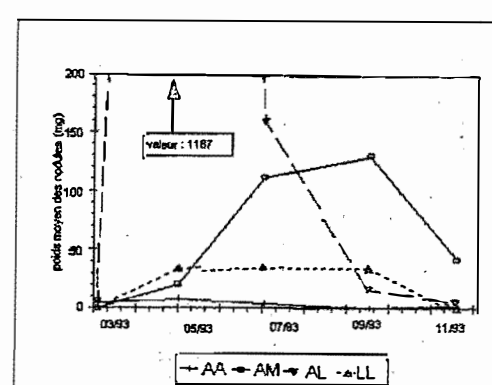
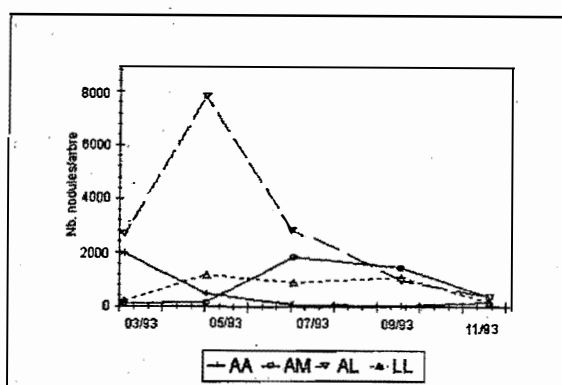
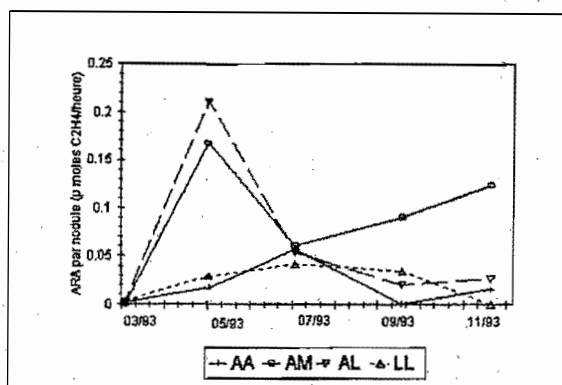
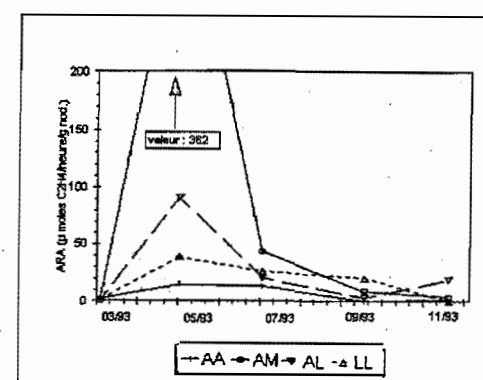
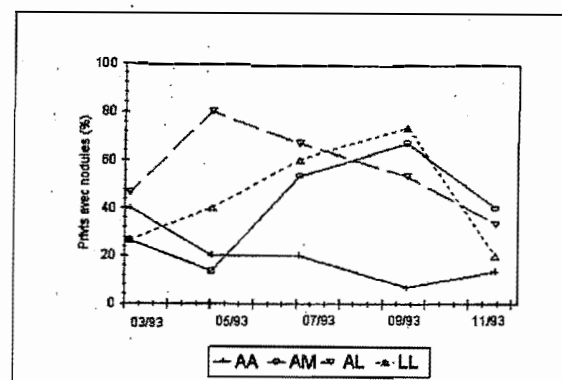
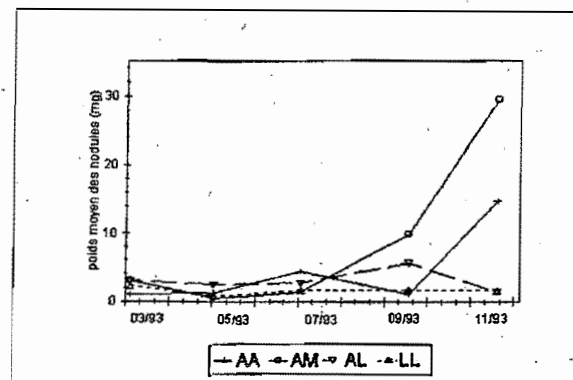
La nodulation est très hétérogène et la distribution des nodules est vraisemblablement de type "agrégative", des conditions de milieu très localisées ayant tendance à favoriser le développement de nombreux nodules ou, au contraire, à inhiber leur présence. Sur certains arbres choisis on n'a observé que de très rares nodules et ce, pour toutes les espèces.

Si l'on excepte la première date (nov. 92) qui a été celle de la mise au point méthodologique et a été effectué sur une bande différente de celle réellement disponible pour le suivi, ce suivi a été fait à 5 dates au cours de l'année 1993. Les résultats obtenus permettent, malgré la variabilité considérable, de mettre en évidence des différences dans la nodulation entre les diverses espèces. On peut effectuer un classement des diverses espèces pour le nombre de nodules :

Albizia lebbeck » *Acacia mangium* ~ *Leucaena leucocephala* » *Acacia auriculiformis*

Le type de nodules observé diffère selon les espèces (planche 3) : ceux des *acacia* et de *leucaena* sont à croissance indéterminée, ce que traduit la présence d'un petit nombre de gros nodules et surtout leur forme alors que ceux des 2 autres espèces sont du type "à croissance déterminée" (beaucoup de nodules dont le poids sec n'excède pas quelques milligrammes). La taille des nodules des acacias augmente fortement après la petite saison sèche. Le pourcentage de prélèvements où l'on a pu détecter des nodules

Planche 2 : dynamique de la nodulation des arbres



et le nombre moyen de nodules par arbre (calculé en tenant compte du volume de terre théoriquement exploré par chaque arbre) permettent d'apprécier la dynamique annuelle de la nodulation. Pour **AA**, le nombre de nodules et de carottages "positifs" diminue tout au long de la période suivie ; pour **AM** et **AL**, le nombre de nodules semble lié à l'installation des épisodes pluvieux.

L'efficacité biologique des nodules a été appréciée par la mesure de leur capacité à réduire l'acétylène (ARA) par nodule, dans le cas d'*Acacia mangium* et *Albizzia lebeck* ; elle présente un pic important en début de saison des pluies. Cette activité est plus ou moins soutenue pour toutes les espèces sauf *Acacia auriculiformis* pendant toute la saison pluvieuse. Il est, dans ce cas aussi compte tenu de l'hétérogénéité des mesures, difficile de comparer avec certitude les diverses espèces mais on peut dégager une tendance au vu des graphes de la planche 2 et classer les espèces quant à l'efficacité "globale" des rhizobiums :

efficacité/arbre : *A. lebeck* » *A. mangium* » *L. leucocephala* » *A. auriculiformis*

efficacité/g de nodule : *A. mangium* » *A. lebeck* » *L. leucocephala* » *A. auriculiformis*

En conclusion de cette étude, deux espèces se singularisent par rapport aux critères rhizobiologiques, l'une par ses bonnes performances (**AL**) et l'autre par ses mauvaises (**AA**) ce qui devrait se traduire par une faible participation de l'azote biologiquement fixé à la satisfaction des besoins de la plante et à l'amélioration du statut azoté du sol pour cette espèce.

Les résultats obtenus pour **AA** contredisent les observations faites sur de jeunes plants issus de pépinières, où une nodulation naturelle et apparemment efficace pour les 2 espèces d'acacia a été constatée. La symbiose "arbre-rhizobium" perdrait donc son efficacité avec le vieillissement des arbres ou la nodulation serait alors effective dans une zone non prise en compte par les prélèvements effectués qui ont été limité à la tranche "0-10 cm" (Dreyfus, communication personnelle).

3.7. PRODUCTION DE BOIS ET MOBILISATIONS MINÉRALES PAR LA SOLE ARBOREE. (Annexe VI)

On a, au moment de l'abattage des arbres, mesuré leurs diverses caractéristiques dendrométriques (circonférence, hauteur) et déterminé par pesée les quantités de "gros bois" (branches de diamètre > 3 cm), "petit bois" (autres branches) et "feuilles et brindilles" de 4 à 6 arbres par parcelle dont des échantillons ont été conservés pour analyse des teneurs en N, P, K, Ca, et Mg des diverses parties des arbres. Ces mesures permettent d'établir la relation entre les caractéristiques biométriques des arbres et la production de bois par arbre (planche 4). La détermination du nombre d'arbres présents par parcelle et la mesure de leurs caractéristiques permettant alors de quantifier la production de bois par espèce (tableau IX).

Tableau IX : production totale de bois par espèce et caractéristiques des diverses espèces.

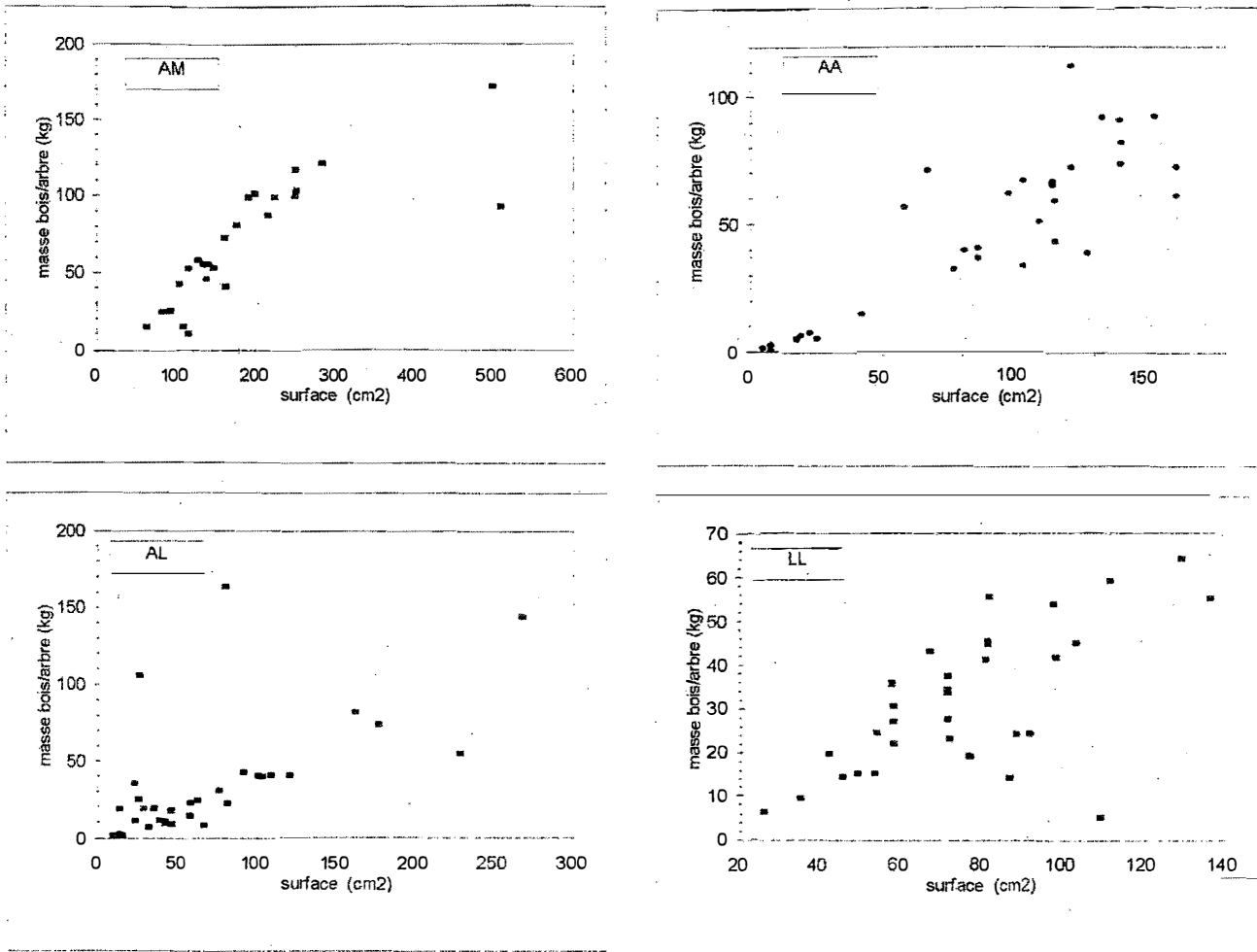
espèce	AA	AM	AL	LL
production de bois	134,4	138,5	68,5	114,3
surf. moy branches (cm ²)	120,3 (b)	188,1 (a)	70,1 (d)	102,9 (c)
taux (%) de branches doubles à 1m30	9,9 (b)	1,5 (c)	13,4 (b)	32,7 (a)

Dispositif en blocs à 6 blocs et 4 traitements (branches doubles : CV = 41% ; surface moy. : CV = 9,6 %).
Deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls à P = 0,05

La qualité du bois produit par les diverses espèces est très différente. Même si la dispersion des résultats est très forte et que coexistent sur toutes les parcelles des arbres dont le développement est très différent (effets de compétition pour la lumière entre autres raisons), le grand nombre de mesures effectuées permet de mettre en évidence des différences significatives entre espèces pour la taille des branches et leur taux de ramification à 1m 30 de hauteur.

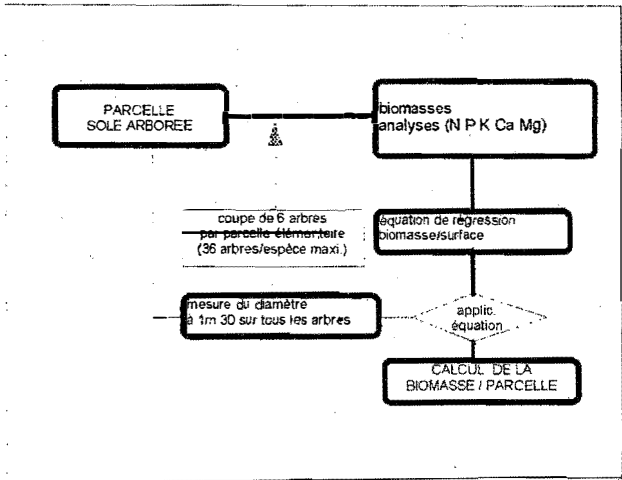
Le calcul des biomasses produites pour chaque espèce n'a pas pu donner lieu à une analyse statistique. Le coefficient de détermination des droites de régression permettant le calcul des biomasses par arbre à

Planche 3 : relations entre la biomasse et la surface du tronc pour 4 légumineuses arborées



équations de régression : biomasse (ou minéralomasse) produite (kg/arbre) = F(surface (cm2))

principe du calcul de la biomasse produite par parcelle



ESPECE	critère	a	b	R2
AM	poids	0.4078	-2.8720	0.8530
	N	1.6498	-10.8019	0.8443
	P	0.0493	-0.1149	0.8598
	K	0.6231	-3.2634	0.8514
	Ca	0.6902	-2.8734	0.8557
	Mg	0.0665	-0.2445	0.8572
AA	poids	0.5483	-0.5766	0.7327
	N	2.3580	-2.9856	0.7116
	P	0.1830	-0.4119	0.7350
	K	0.6378	-0.5589	0.7010
	Ca	0.0902	-0.0880	0.7040
	Mg	1.3312	-1.4449	0.7070
AL	poids	0.4769	-3.6079	0.8794
	N	3.1426	-13.4722	0.8152
	P	0.1758	-0.7316	0.8122
	K	2.3008	-10.1356	0.8181
	Ca	1.9689	-8.3672	0.8142
	Mg	0.2515	0.9037	0.7970
LL	poids	0.4959	-3.2958	0.6839
	N	3.6678	-23.8469	0.6828
	P	0.0930	-0.6906	0.6877
	K	2.4262	-17.5876	0.6894
	Ca	1.4024	-10.8422	0.6835
	Mg	0.4418	-3.4691	0.6815

par arbre à partir de leur circonférence (cf. planche 3) est l'indice d'une "qualité prédictive" assez faible des résultats (R^2 compris entre 0,68 et 0,80 selon les espèces) mais les différences de quantités de bois produites sont tout de même assez importantes pour être signalées. On remarquera la production deux fois moins importante de bois sur les parcelles en AL par rapport à celles en AA et AM.

Les qualités "technologiques" des bois produits sont aussi différentes et sont résumées par le tableau X et seront nécessairement à prendre en compte pour les recommandations à faire dans l'éventuelle diffusion d'un système de culture intégrant la jachère arborée.

Tableau X : qualité technologiques des espèces testées.

espèce	AA	AM	AL	LL
carbonisation	bonne	moyenne	bonne	moyenne
perches	moyenne	bonne	mauvaise	bonne
chauffe	moyenne	mauvaise	moyenne	bonne

Les mobilisations minérales par les bois ont été calculées selon le même principe que le calcul des biomasses (tableau XI).

Tableau XI : mobilisations minérales par les bois et "petit bois" des espèces testées ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

espèce	AA	AM	AL	LL
N	647	562	475	847
P	50	17	27	21
K	176	214	347	556
Ca	366	238	298	320
Mg	25	23	38	100

Si l'on compare les valeurs obtenues pour *Ac. mangium* et *Ac. auriculiformis* à celles trouvées par Bernhard-Reversat et coll. (op. cité) on remarque la concordance des valeurs obtenues sauf dans le cas du potassium où les mobilisations à Oumé sont dix fois supérieures à celles obtenues au Congo, où la pauvreté du sol en potassium échangeable avait été signalée.

Les mobilisations par la jachère arborée couvrent une période de 6 années. Ces mobilisations minérales par les seules parties de la jachère arborée qui seront exportées sont considérables, particulièrement celles en azote et démontrent la nécessité de l'efficacité d'une symbiose efficace pour ne pas épuiser les réserves azotées du sol lors de la phase de culture des arbres. On remarquera aussi les besoins nettement plus importants en phosphore de AA par rapport aux autres espèces et surtout les différences importantes de mobilisation en potassium par les diverses espèces qui, même si les niveaux en potassium échangeable des terres de la région sont convenables, pourraient, dans le cas de LL avec plus de 650 kg K_2O conduire à une carence en cet élément si les cycles "vivriers"-jachère arborée se succédaient sans reconstitution du stock de potassium du sol par des intrants.

3.8. ETAT DU SOL APRES EXPLOITATION DES PARCELLES ARBOREES ET CULTURE DU MAIS. (Annexe VII)

L'exploitation des parcelles plantées en arbres des essais "légumineuses 87" et "jachère arborée

88" pour la production de perches et de charbon de bois a laissé sur le terrain des résidus (feuilles, petites branches et brindilles) qui ont été quantifiés avant la mise en place des cultures vivrières tout comme des prélèvements de terre ont été effectués pour juger de l'état de fertilité chimique des diverses parcelles. Les prélèvements de terre ont été effectués à la tarière (0/15 cm) chaque échantillon étant constitué par 5 carottes prélevées sur les diagonales de chaque parcelle avant l'enfouissement des engrais. La quantité de litière (ou de cendres) présente sur le terrain juste avant le semis a été estimée à partir d'un prélèvement portant sur une surface de 1 m² par "jet au hasard" d'un gabarit dans la parcelle. Les analyses de terre et de litière ont porté sur une aliquote de chaque prélèvement.

3.8.1 . Quantification des apports par les "résidus d'abattage" des arbres .

Les produits végétaux présents sur les parcelles à la mise en place des essais maïs ont pour origine les retombées (principalement feuilles et fruits) des arbres non encore décomposées au moment de l'abattage et les résidus d'abattage non commercialisables.

Sur l'essai "**légumineuses 87**", le brûlis n'a été complet que sur les parcelles en **AA** et **AM** où le "tapis" de résidus d'abattage des arbres et de la litière était très fourni ; c'est aussi sur deux espèces et sur **AL** que la couverture du sol par le mulch est suffisante pour assurer de bonnes conditions de conservation de l'humidité (tableau XII). espèces et sur **AL** que la couverture du sol par le mulch est suffisante pour assurer de bonnes conditions de conservation de l'humidité (tableau XII).

Tableau XII : quantités de "mulch" correspondant aux divers type de précédent arboré.

ESPECE	AA	AM	AL	LL	Témoin
Qt moy. g/m ²	1177 (a)	1302 (a)	1235 (a)	811 (b)	688 (b)

dispositif en blocs (5 précédents) à 3 blocs. CV = 14.8%

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman - Keuls à P = 0.05

Pour pouvoir travailler sur les parcelles dans de bonnes conditions, il est nécessaire, au moment du semis de sortir des parcelles les branches les plus "encombrantes" qui peuvent être intégrées au bois destinés à la production de charbon ou aux usages domestiques immédiats. Cette opération, surtout nécessaire pour les parcelles et a été réalisée en prenant soin de laisser le maximum de feuilles sur les parcelles. Les

quantités **AA** de liti disponible pour les parcelles témoins (jachère naturelle) sont équivalentes à celles des parcelles en **LL** et inférieures d'environ 40% aux autres. L'effet du brûlis ne peut être quantifié que pour les parcelles arborées en **AA** et **AM** car ce sont les seules où le brûlis a été complet. Les quantités de résidus sont inférieures d'environ 20% à celles des parcelles non brûlées (981 g*m⁻² contre 1240). Les cendres formées sont siliceuses et beaucoup plus pauvres en carbone sur les parcelles brûlées (20% contre 45%) que sur les parcelles en mulch. L'analyse des résidus collectés sur les diverses parcelles laissées en mulch permet d'apprécier les quantités d'éléments restituées au sol pour les divers types de résidus, ces quantités sont statistiquement équivalentes (malgré des écart sur les moyennes pouvant être élevés) pour toutes les espèces, y compris celles en jachère naturelle, pour K, Ca et Mg (en moyenne 77 kg*ha⁻¹O, K₂109 kg*ha⁻¹ CaO, 33 kg*ha⁻¹

MgO). Les quantités d'azote et de P₂O₅ sont statistiquement différentes selon les espèces (tableau XIII).

Tableau XIII : apports de N et P₂O₅ pour les diverses espèces arborées à l'abattage des arbres (parcelles en mulch, moyenne des trois blocs (g*m⁻²).

ESPECE	AA	AM	AL	LL	Témoin	CV %
N	18,1 (ab)	21,8 (a)	17,4 (ab)	10,7 (ab)	11,0 (b)	20,7
P ₂ O ₅	1,74 (b)	1,97 (b)	3,57 (a)	1,47 (b)	1,74 (b)	23,0

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls à P = 0,05

De même, le brûlis, dans le cas des parcelles AA et AM diminue significativement les quantités d'azote restituées au sol (en moyenne $20,0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ pour les parcelles en mulch contre $7,6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ pour celles qui ont été brûlées).

Les éléments minéraux ainsi restitués ne représentent pas des quantités ayant un impact agronomique important. Elles correspondent à peu près aux fumures minérales nécessaires à la production d'une à deux cultures intensives de maïs. On notera les pertes d'azote considérables (plus de 50%) dues au brûlis et les restitutions en phosphore doublées dans le cas des parcelles AL. Les parcelles laissées en jachère naturelle conduisent à des restitutions équivalentes à celles de la plupart des espèces arborées sauf pour l'azote où elles sont inférieures d'environ 40% à la moyenne des parcelles en AA, AM et AL mais identiques à celles des parcelles LL.

Sur l'essai "**jachère arborée 88**", les cendres résultant des brûlis ont été pesées et analysées. L'apport de résidus est en moyenne de $927 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ce qui correspond à des quantités d'éléments sensiblement équivalents à ceux du même traitement de l'essai précédent ($112 \text{ U} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$; $34 \text{ P}_2\text{O}_5$ et $46 \text{ K}_2\text{O}$).

3.8.2. Fertilité du terrain après exploitation de la sole arborée.

Les analyses effectuées sur les prélèvements de terre permettent de juger des conséquences de 7 années de présence des arbres (et donc de cycles "formation - chute des feuilles et fruits") sur la fertilité du terrain.

Sur les prélèvements de l'essai "**légumineuses 87**" la plupart des critères de fertilité chimiques (pH, P ass. Olsen III, bases et CEC cobaltihexammine) ne sont pas statistiquement modifiés par la présence de la sole arborée (tableau. XIV).

Tableau XIV : composition chimique moyenne de l'horizon de surface (0/15 cm) juste après exploitation de la sole arborée (critères statistiquement équivalents pour tous les précédents $p = 0,05$; dispositif : essai bloc 6 blocs)

CRITERE	pH eau	Carb. %	Ca Cob*	Mg Cob *	K Cob*	CEC Cob*	P Olsen
moy. CV%	7,16 3,8	1,99 18,9	9,14 22,9	1,65 14,5	0,58 25,9	11,38 21,5	18,7 52,3

* : complexe adsorbant au chlorure de cobaltihexammine ; résultats en $\text{még} \cdot 100 \text{g}^{-1}$

Les prélèvements pour analyse ont été effectués avant mise en place des engrais et juste au moment du brûlis. L'essai peut alors être considéré comme un dispositif en blocs de Fisher à 5 traitements et 6 répétitions. Ces caractéristiques moyennes sont proches de celles présentées au tableau I. On retiendra surtout les valeurs faibles de phosphore assimilable. Les coefficients de variation relativement élevés masquent certainement certains effets des précédents arborés, par exemple pour le carbone, la moyenne des teneurs des parcelles AL est de 2,28% alors que celle des parcelles AM n'est que de 1,73% ; pour le phosphore assimilable, les parcelles "témoin" et AA ont des teneurs moyennes inférieures à $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ alors que celles AL et LL sont de $22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Malgré la dispersion des résultats, le type de précédent "arbre" a un effet significatif sur les teneurs en azote du sol (Tableau XV).

Tableau XV : état de l'azote du sol selon les précédents arborés au moment de l'exploitation des arbres.

REF.	AA	AM	AL	LL	Témoin	CV%
N total hs	1888 (b)	1730 (b)	2387 (a)	2121 (ab)	2124 (ab)	13,4
N-NH ₄ ns	14,8	11,3	12,3	13,8	12,5	16,2
N-NO ₃ s	31,3 (ab)	21,8 (b)	45,1 (a)	43,4 (a)	37,6 (ab)	35,4
N - Waring s	145 (ab)	109 (b)	166 (a)	133 (ab)	160 (a)	20,7
N hd ns	504	496	619	542	556	14,0
N hnd hs	1166 (ab)	1117 (ab)	1301 (a)	929 (b)	1043 (b)	13,4
N rés. ns	358	263	387	391	289	27,1

résultats en mg*kg⁻¹ : moyenne de 6 répétitions ; 2 moyennes affecté de la même lettre ne différencient pas par le test de Newman-Keuls à P = 0,05. ; ns : non significatif ; s : significatif à P = 0,05 ; hs : significatif à P = 0,01

Par rapport au témoin en jachère naturelle, les traitements **AL** et **LL** permettent de maintenir les teneurs en azote total du sol, tout en assurant une "culture" productive ; les traitements **AL** et **AM**, eux, appauvrissent le sol. Le fractionnement chimique par hydrolyse acide (Steward et coll. 1963 ; Egoumenides 1990) fait apparaître des teneurs en azote hydrolysable non distillable (N hnd) en grande partie d'origine protéique, supérieure pour les parcelles **AL**. L'azote minéralisable par la méthode Waring-Bremner (1964) est plus élevé sur les parcelles **AL** que sur celles des autres espèces arborées et correspond aux valeurs trouvées sur celles en jachère naturelle. L'ensemble de ces résultats est en accord avec les observations faites sur les retombées par les litières et la nodulation des espèces en place.

Sur les prélèvements de l'essai "**jachère arborée 88**" les analyses effectuées donnent des résultats moyens proches de ceux du tableau X. Cet essai est peu discriminant puisqu'il ne comporte que 3 blocs et le coefficient de variation de résultats est assez élevé. Le seul effet des traitements statistiquement significatif est une baisse des teneurs en magnésium échangeable (jachère : 1,78 ; AM : 1,39 ; maïs : 1,19 méq*100g⁻¹), baisse pour laquelle on n'a pas d'explications si ce n'est une conséquence indirecte de la lixiviation de nitrates qui pourrait être plus importante sous les cultures vivrières. C'est pour l'instant le seul signe d'une dégradation du milieu, le niveau de calcium et de potassium étant trop élevé au départ dans ce sol (nature du substratum) pour être un révélateur des effets de la lixiviation.

En conclusion, la mise en place d'une jachère arborée correctement choisie (**AL**) permet de conserver des caractéristiques chimiques de fertilité équivalentes à celles d'une jachère naturelle tout en valorisant l'occupation du terrain. Il reste à savoir si les différences qui apparaissent au niveau des analyses chimiques se traduisent par une amélioration de la production des cultures vivrières et surtout quelle sera la durabilité des effets constatés.

3.8.3. Culture du maïs sur les parcelles avec ou sans précédent arboré.

Après l'exploitation de la sole forestière, les parcelles ont été cultivées en maïs. L'objet principal de cette culture est de juger de l'état de fertilité du sol des parcelles et de son évolution au cours des campagnes successives d'où le protocole mis en place et le suivi très complet qui a été fait sur la première culture : diagnostic foliaire ; prélèvements pour détermination des mobilisations minérale maximum ; décomposition du rendement en ses diverses composantes. Ce suivi a été allégé pour la seconde campagne de culture où l'on ne s'est intéressé qu'au rendement (et à ses composantes) et à la production de pailles à la récolte.

Pour l'essai "**légumineuses 87**", on a aussi testé deux modes de traitement des résidus d'abattage des arbres : brûlis et mulch alors que sur l'essai "**jachère arborée 88**" toutes les parcelles ont été brûlées avant leur mise en culture, ce qui est la pratique courante dans la zone.

Enfin, sur les deux essais chaque parcelle élémentaire a reçu une fertilisation minérale sur la moitié de sa surface pour lever toute contrainte chimique à la production du maïs.

3.8.3.1. -essai "légumineuse 87".

PREMIERE CULTURE :

Qualité de la nutrition et mobilisations minérales du maïs.

le prélèvement foliaire est effectué au moment de la floraison mâle du maïs, et porte sur le tiers médian de la feuille sous l'épi (Loué 1965). Sur chaque parcelle élémentaire de l'essai 20 feuilles ont été prélevées, dépoussiérées dès le prélèvement et séchées à l'étuve à température modérée avant d'être transmis au laboratoire pour analyse. Au même stade, 4 plants pris en limite de parcelle (voir annexe I) sont coupés au niveau du collet, tronçonnés et entièrement séchés et pesés pour déterminer la matière sèche produite et entièrement broyées puis analysés.

L'analyse a porté sur les teneurs en N (analyse par voie sèche sur appareil CHN), en P, K, Ca et Mg (analyse par ICP après minéralisation par voie sèche au four à moufle à 550°C et reprise acide des cendres.

Azote. L'effet le plus net sur la qualité de la nutrition azotée du maïs est celui de l'apport d'engrais qui permet pour toutes les situations (types d'arbre sur la parcelle et de "couvert" au moment du semis), l'obtention d'une teneur en azote des feuilles correspondant à une nutrition azotée correcte.

La comparaison des parcelles brûlées et en mulch fait état de teneurs en azote plus élevées sous brûlis, ce que l'on peut expliquer aisément par l'état des éléments apportés par la litières pour ces deux types de couvert (plutôt minéral dans le cas du brûlis et organique dans celui du mulch). Toutefois il ne faut pas oublier que la quantification des quantités d'azote présentes sur le terrain au moment du semis sont pour *Ac. auriculiformis* et *Ac. mangium* en moyenne de 20,0 g*m⁻² sous mulch et de 7,5 g*m⁻² sous brûlis, ce qui permet de penser que les effets à long terme de ces traitements seront essentiels à apprécier. L'effet du type de précédent "arbre" est, lui aussi, significatif. La "mauvaise performance" des acacias et tout particulièrement de l'*Ac. auriculiformis* est à noter, la teneur moyenne des traitements sans engrais est alors de 2,60 %N ce qui est nettement au dessous du seuil de carence de 3,1 % que l'on peut admettre avec la méthode d'analyse utilisée. Il faut souligner que cette espèce se signale aussi par ses mauvaises performances pour la nodulation et les retombées d'azote par les litières.

Les mobilisations en azote du maïs après 65 jours de culture sont significativement plus élevées pour les parcelles avec engrais (15,8 g/m²) par rapport à celles sans engrais (8,0 g/m²), elles correspondent alors à celles d'une culture proche de son potentiel de production. Les autres facteurs étudiés n'ont pas d'influence statistiquement décelables par l'analyse en factoriel à 2 niveaux splité. Par contre, si on limite l'analyse aux parcelles en mulch (à cause de l'hétérogénéité du brûlis) on met en évidence un effet de l'espèce arborée sur les mobilisations en azote du maïs (tableau XVI)

Tableau XVI : azote mobilisé par la culture de maïs pour les divers précédents arborés (moyennes des effets

espèce arborée	AA	AM	AL	LL	Témoin
N mobil (g/m ²)	7,55 b	14,85 a	13,58 ab	11,20 ab	9,99 ab

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %

Phosphore. Pour cet élément aussi, l'effet de l'apport d'engrais sur la nutrition minérale du maïs est spectaculaire. La nutrition phosphorique du maïs est mieux assurée sous brûlis que sous mulch et l'interaction "couvert"- "engrais" est significative. On ne met pas en évidence de différences statistiquement significatives entre les diverses espèces d'arbres testées ; la teneur des diverses parcelles sans engrais oscille entre 0,18 et 0,24% P ce qui correspond dans tous les cas à des situations de carence en Phosphore.

Tout comme pour l'azote, on peut conclure, pour cette première mise en culture à une supériorité du brûlis sur le mulch quant à la qualité de la nutrition phosphorique du maïs ; il faut souligner que, dans ce cas, les apports par le mulch sont en quantités statistiquement équivalentes à celles du brûlis (d'ailleurs curieusement, les valeurs sont arithmétiquement plus élevées sur brûlis que sur mulch).

Les mobilisations minérales en phosphore des parcelles fertilisées sont significativement plus élevées que les autres. L'interaction entre le mode de couvert au semis (brûlis ou mulch) est significative avec une différence entre les parcelles non fertilisées en mulch (0,60 g*m⁻²) et celles brûlées (0,88 g*m⁻²).

Potassium. Sauf l'apport d'engrais, aucun des traitements testés ne modifie les teneurs en potassium des feuilles de maïs. Selon les normes d'interprétation, la nutrition potassique du maïs est dans tous les cas satisfaisante. L'effet combiné des apports d'engrais et du type de couvert au semis du maïs est lui aussi significatif sur les mobilisations en potassium du maïs.

Calcium et magnésium. Ces deux autres éléments majeurs ont été analysés pour l'établissement du diagnostic foliaire. Les traitements ou leur combinaison sont sans effet sur les teneurs en calcium et magnésium du maïs, toutefois, si on se réfère aux normes de la littérature (Escano 1985) les teneurs en magnésium des feuilles de maïs sont dans tous les cas inférieures au seuil de déficience.

Le rapprochement des quantités d'éléments minéraux mobilisés par la culture du maïs de celles apportées par la litière (ou son brûlis) lors de l'exploitation des arbres montre que :

- les quantités d'azote mobilisées par une culture fertilisée sont supérieures à celles apportées par les espèces les moins performantes de légumineuses arborées ; ces mobilisations sont légèrement inférieures aux apports des légumineuses arborées les plus performantes. Dans le cas des parcelles non fertilisées, l'azote des résidus laissés sur le terrain après l'exploitation des arbres correspond aux quantités mobilisées par 2 à 3 cultures successives

- les quantités de potassium et de phosphore laissées par les arbres sont généralement inférieures à celles prélevées par le maïs en parcelles fertilisées. En parcelles non fertilisées, les quantités de phosphore apportées et prélevées sont similaires.

Analyse de la production du maïs.

Le déroulement de la culture du maïs a été suivi tout au long du cycle de culture. De façon générale les conditions de culture ont été satisfaisante avec une pluviosité convenable tout au long du cycle, malgré un semis relativement tardif pour la zone. Le rendement moyen de l'essai est de 5061 kg*ha⁻¹ de grains à l'humidité standard de 15%. La production de pailles est elle en moyenne de 6854 kg*ha⁻¹ (MS) (tiges, feuilles, spathes et rafles) ce qui, avec un rapport pailles/grains de 1,59 signifie une bonne productivité de la plante. La variabilité des résultats est acceptable avec un coefficient de variation entre blocs qui est compris entre 6 et 14% tandis que celui calculé au niveau des sous blocs varie entre 4 et 15%.

Les divers facteurs testés dans l'essai et/ou leur interaction ont une influence sur les composantes du rendement du maïs (tableau XVII)

Tableau XVII : tableau récapitulatif de l'effet des objets testés et de leur combinaison sur les facteurs du rendement du maïs.

	Rdt pailles	Rdt grains	Nb pieds/par	Nb épis/pied	Nb grains/épis	poids 1000 grains
effet arbres (AB)	*	*	ns	ns	ns	ns
effet couvert (CO)	*	***	**	ns	****	***
effet engrais (EN)	***	ns	ns	ns	ns	ns
int. AB*CO	ns	ns	ns	ns	ns	ns
int. AB*EN	ns	**	ns	ns	*	ns
int. CO*EN	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Effets : * significatif au seuil de 5% ; ** significatif au seuil de 1% ; *** significatif au seuil de 1%.

Le précédent cultural à un effet significatif aussi bien sur la production de grains que sur celle de pailles. Le classement des moyennes par le test de Newman-Keuls au seuil de 5% est présenté au tableau XVIII

Tableau XVIII : effet des précédents arbre sur la production de pailles et grains du maïs

espèce arborée	AA	AM	AL	LL	Témoin
Rdt pailles kg*ha ⁻¹	6308 b	7221 a	6891 ab	7187 a	6664 ab
Rdt grains kg*ha ⁻¹	4560 b	5232 a	5014 ab	5227 a	5273 a

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %

On remarquera la mauvaise performance des parcelles en *Ac auriculiformis* dont la production est significativement plus faible que celles des autres (-12% pour la production de grains et -10% pour celle de paille) ce qui confirme les observations faites sur la fertilité du sol (teneur en azote), le diagnostic foliaire et les mobilisations en azote du maïs. On ne peut pas toutefois identifier parmi les diverses composantes du rendement celle(s) qui sont incriminées dans cette dégradation de la production.

L'effet de l'engrais est toujours très net ; le seul critère qui n'est pas influencé par la fertilisation minérale est le nombre d'épis par pied au déterminisme plutôt génétique que nutritionnel. Il est dans le cas du rendement en grains et particulièrement pour le nombre de grains par épis amplifié par le type de couvert de la parcelle comme le montre le tableau XIX

Tableau XIX : rôle du type de couvert et effet de l'engrais sur le rendement du maïs (H standard 15%).

moyennes des diverses parcelles	Rdt grains kg * ha ⁻¹		Nb de grains par épis	
	mulch	brûlis	mulch	brûlis
avec engrais	6205 a	5675 b	375 a	347 b
sans engrais	4013 c	4350 c	280 c	294 c

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %

Par rapport au brûlis, le mulch induit une valorisation de la fertilisation minérale dont l'explication pourrait être trouvée dans l'amélioration des conditions d'alimentation hydrique de la plante, l'augmentation de la production étant le fait de celle du nombre de grains par épis ; en revanche, sans fertilisation minérale une tendance inverse est observée (disponibilité immédiate des éléments minéraux). Il y a donc une certaine discordance entre les résultats du diagnostic foliaire du maïs où les teneurs les plus favorables étaient toujours le fait des parcelles brûlées et le verdict de la production de grains où le résultat le plus frappant est la valorisation des apports d'engrais par la pratique du mulch.

La production de pailles est fonction de la nature des légumineuses arborées présentes sur les parcelles et du type de couvert végétal de ces parcelles (tableau XX)

Tableau XX : facteurs influençant la production de pailles sur les parcelles (kg*ha⁻¹ MS).

moy. divers facteurs	AA	AM	AL	LL	Témoin
Mulch 7104 a	6781 bc	8229 a	7720 ab	6623 bc	7163 abc
Brûlis 6604 b	5834 c	6213 c	6062 c	7752 ab	6167 c

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %

La production de pailles est significativement plus élevée dans les parcelles en mulch par rapport à celles qui ont été brûlées. Les remarques qui ont été faites sur l'efficacité des traitements sont confirmées au niveau du rendement en pailles. Le rapport pailles/grains est lui aussi affecté par le type de couvert végétal des parcelles (augmentation moyenne de 7% pour les parcelles en mulch) avec des différences de comportement selon les espèces de légumineuses arborées.

SECONDE CULTURE I

Pour cette culture, on ne dispose que des observations sur la production du maïs : rendements en grains du maïs et de certaines de ses composantes, production de pailles à la récolte. Les conditions hydriques ont été moins favorables que pour la première culture, ce qui est habituel dans la zone, et explique vraisemblablement les faibles pourcentages de pieds présents à la récolte et leur prolificité peu élevée (0,80 épis par pied en moyenne).

Le tableau XXI résume les principales conclusions du traitement statistique des résultats obtenus.

Tableau XXI : conclusions de l'analyse statistique des données de production du maïs.

EFFETS	Nb.pieds	Nb. épis	prolif.	Rdt grains	Rdt pailles	Nb Gr/épis
arbres (AB)	ns	ns	ns	s	ns	ns
couvert (CO)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
engrais (EN)	ths	ths	ns	ths	ths	ns
AB * CO	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AB * EN	ns	ns	ns	s	ns	ns
CO * EN	ns	ns	ns	s	s	ns
AB * CO * EN	ns	ns	ns	ns	ns	ns

dispositif factoriel (2) split-plot à 3 blocs.

L'effet de l'engrais est toujours très important sur le rendement et ses composantes, l'accroissement étant en moyenne de 42% tout comme en première culture, ce qui montre que le niveau de production atteint par la seule pratique de la jachère ne permet pas une intensification importante de la production.

Le type jachère arborée influe significativement sur la production de grains, la réponse étant différente selon la fertilisation (tableau XXII).

Tableau XXII : effet des précédents "jachère" sur le rendement en grains du maïs.

ENGRAIS	AA	AM	AL	LL	Témoin	ENSEMBLE
avec	3764 (a)	3971 (a)	4232 (a)	4022 (a)	4219 (a)	4042 (a)
sans	2129 (c)	2767 (bc)	2955 (b)	3488 (ab)	2938 (b)	2843 (b)
ENSEMBLE	2946 (b)	3339 (ab)	3594 (ab)	3757 (a)	3580 (ab)	3443

dispositif factoriel (2) split-plot à 3 blocs. Deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls à $P = 0,05$; CV 1 % = 16,4 ; CV2% = 11,2

En absence d'engrais, le niveau de production relativement faible des parcelles ayant été plantées en **AA** ou **AM** est confirmé.

De même, pour les rendements en pailles et grains, l'effet de l'engrais est différent selon que les résidus d'abattage des arbres sont laissés en mulch ou brûlés (tableau XXIII)

Tableau XXIII : effet du type du mulch et du brûlis sur la production du maïs en seconde culture.

moyennes des diverses parcelles	Rdt grains kg * ha ⁻¹		Rdt pailles (kg*ha-1)	
	mulch	brûlis	mulch	brûlis
avec engrais	4103 (a)	3978 (a)	7948 (a)	7874 (a)
sans engrais	2582 (c)	3105 (b)	4827 (b)	5401 (b)

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % CV1% = 15,6 ; CV2 % = 8,4 dispositif en factoriel (2) split-plot à 3 blocs.

Tout comme pour la première culture, les parcelles en mulch valorisent mieux l'apport d'engrais, aussi bien pour les pailles que pour les grains. Cet effet du mulch sur l'efficacité de l'engrais est signalé par Bernard et coll. (1992) qui étudient l'effet d'un mulch de *Cassia siamea* sur la production d'un maïs au Bénin. L'ICRAF (1991) signale, à Chipata en Zambie, des augmentations de rendement importantes sur des terrains ayant porté une jachère de *Sesbania sesban* par rapport à des parcelles ayant porté un fourrage ou du maïs comme précédent tandis que, dans des zones plus humides (Cameroun) le mulch a un effet légèrement positif pour la culture de maïs et franchement dépressif pour la culture d'arachide qui lui succède. L'effet des traitements effectués est donc à juger sur plusieurs cycles culturaux avant de proposer un système de culture à la vulgarisation.

3.7.3.2. essai "JACHERE ARBOREE 1988".

PREMIERE CULTURE

diagnostic foliaire mobilisations minérales du maïs

Dans un premier temps, trois type de parcelles ont été différencié après défriche de la brousse secondaire présente en 1988 sur le terrain d'essai :

- parcelles cultivées une année puis laissées en défens (JN)
- parcelles en culture continue de maïs depuis la défriche (CC)
- parcelles plantées en *Acacia mangium* (3m*3m) avec culture de maïs tant que le développement

des arbres l'a permis (AM).

Sur ces diverses parcelles la production moyenne de la culture de maïs pendant la culture de grande saison des pluies est présentée au tableau XXIV.

Tableau XXIV : production du maïs ($t \cdot ha^{-1}$) des divers types de parcelle de l'essai "jachère arborée 88" pendant la première phase

REFERENCE	88 -var. CJB	89 -var. F7928	90 - var. F7928	91 var. 7928
cult. cont (CC)	1,5	4,2	3,3	2,5
Ac. mangium (AM)	1,8	4,4	1,8	non cultivé
Jach. nat. (JN)	2,3	parcelles laissées en jachère naturelle		

Les rendements présentés au tableau XX sont la moyenne de trois blocs très hétérogènes et sont à interpréter avec prudence. On remarque tout de même une tendance à la diminution de la production au cours des cultures successives. La concurrence des arbres pour la lumière limite nettement la production des parcelles AM qu'il n'est pas possible de cultiver plus de 2 ans après la mise en place des arbres.

Lors de l'exploitation des arbres, les résidus d'abattage (feuilles, brindilles) présents sur la parcelle ont été brûlés. On a fait de même avec la matière végétale des parcelles en jachère et le maïs a été implanté. Le principe de l'essai est le même que celui comparant les diverses espèces de légumineuses arborées et chaque parcelle élémentaire a été divisée en deux parties dont l'une a été fertilisée par un apport de NPK. (fert et non fert). Cet essai de type "split-plot" a un nombre limité de blocs et la discrimination des effets, particulièrement ceux concernant les traitements (précédents culturaux) qui sont en "grande parcelle" ne repose que sur 4 degrés de liberté, il faudra donc, pour que des différences entre traitements puissent être significatives qu'elles soient arithmétiquement importantes.

La **qualité de la nutrition minérale** du maïs a été appréciée par le diagnostic foliaire effectué au moment de la floraison mâle du maïs dont les résultats sont présentés au tableau XXV.

Tableau XXV : état nutritionnel du maïs de l'essai "jachère arborée 88" en première culture.

		N %	P %	K %	Ca %	Mg %
A M	fert	3,28 a	0,32	2,34	0,39	0,13
	non fert	3,12 a	0,27	2,38	0,41	0,12
J N	fert	3,41 a	0,32	2,32	0,38	0,13
	non fert	3,22 a	0,27	2,28	0,36	0,14
C C	fert	3,12 a	0,31	2,30	0,41	0,13
	non fert	2,52 b	0,23	2,29	0,40	0,13

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % Dispositif en split-plot

Cette approche a été complétée par une détermination de la **production de matière sèche** du maïs à la même époque et par une détermination des **mobilisations minérales** à partir du prélèvement de 5 pieds pour chaque parcelle élémentaire de l'essai dont les résultats sont présentés au tableau XXVI.

Tableau XXVI : mobilisations minérales du maïs en première culture

	mat. sèche (g/m ²)		N mobil. (g/m ²)		P mobil. (g/m ²)		K mobil (g/m ²)	
	fert 924 a	non fert. 821 b	fert. 18,27 a	non Fert. 11,35 b	fert. 1,80 a	non Fert. 1,24 b	fert. 26,50 a	non fert.. 17,78 b
A M.	888	535	15,90	10,82	1,47	1,09	25,38	15,85
J N	924	717	18,71	14,06	1,72	1,35	28,21	20,45
C C	979	811	20,22	9,37	2,21	1,28	27,92	17,24

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. dispositif en split-plot

Des différences significatives par le test de Newman-keuls apparaissent pour le DF **azote** avec des teneurs plus faibles et sensiblement inférieures au seuil de déficience dans le cas des parcelles en culture continue et n'ayant pas reçu d'engrais, toutes les autres parcelles ont un niveau de nutrition azotée satisfaisant. Les mobilisations azotées des parcelles avec engrais ont aussi supérieures à celles des parcelles sans engrais.

Dans le cas du **phosphore et du potassium** le diagnostic foliaire et les mobilisations minérales font seulement apparaître un effet des apports d'engrais. Dans tous les cas les parcelles sans engrais peuvent être considérées comme mal alimentées en phosphore, cela est particulièrement sensible pour les parcelles en culture continue. On ne note pas d'influence des traitements testés sur les teneurs en calcium et magnésium mais tout comme pour l'essai précédent les teneurs en magnésium des feuilles sont insuffisantes.

Analyse de la production du maïs

Les diverses données collectées au cours de la culture du maïs ont été analysées statistiquement. Les conclusions de cette analyse figurent au tableau XXVII

Tableau XXVII : résumé de l'analyse de la production du maïs. facteurs significatifs.

	Rdt pailles	Rdt grains	Nb pieds/par	Nb épis/pied	Nb grains/épis	poids 1000 grains
eff. précédent	ns	ns	ns	ns	ns	ns
eff. engrais (E)	**	**	ns	ns	*	ns
inter préc.* eng	ns	**	ns	ns	ns	ns

Effets : * significatif au seuil de 5% ; ** significatif au seuil de 1% ; *** significatif au seuil de 1‰ . Dispositif split-plot à 3 blocs

Seul l'effet de l'engrais est significatif aussi bien pour la rendement en pailles (tiges, feuilles spathes et rafles réunis). Si on se limite à l'étude du rendement en tiges et feuilles seulement l'effet du précédent devient significatif. On note aussi une interaction significative entre l'engrais et le précédent cultural. Ces résultats sont présentés au tableaux XXVIII et XXIX

Tableau XXVIII : effet des précédents sur la production de paille du maïs

précédent	Cult. continue	<i>A. mangium</i>	Jach. nat.
tiges et feuilles	4518 b	5241 ab	6164 a

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %

L'effet de l'engrais sur le rendement en grains du maïs est net, il est surtout le fait du nombre de grains par épis.

Tableau XXIX : effet des précédents sur la production en grains du maïs

précédent	Cult. continue	<i>A. mangium</i>	Jach. nat.
avec engrais 5087 a	5127 a	5015 a	5166 a
sans engrais 4247 b	3205 b	4563 b	4973 b

deux moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %

La dégradation de la production par la culture continue sans apport d'engrais est confirmée (baisse de 37%). La présence d'*A. mangium* permet de situer la production à un niveau intermédiaire entre la jachère naturelle et la culture continue.

SECONDE CULTURE

Tout comme pour l'essai précédent, le suivi a été limité à la détermination du rendement et de certaines de ses composantes ainsi qu'à la détermination du poids de pailles. L'analyse statistique des résultats ne met en évidence que l'effet de l'engrais sur le rendement en grains et le poids de grains par épis ainsi que sur la production de pailles (tableau XXX).

Tableau XXX : effet de l'engrais sur les composantes du rendement (culture 2)

ENGRAIS	Rdt grains (Kg * ha ⁻¹)		Rdt pailles (Kg * ha ⁻¹)		Pds grains/épis (g)	
	avec	sans	avec	sans	avec	sans
moy.	3807	3027	8130	5614	108,6	88,8

Ces résultats confirment ceux de la première culture sur l'effet de l'engrais mais on ne retrouve pas les effets précédents qui avaient alors été mis en évidence. En fait, la capacité de discrimination de cet essai est assez faible (3 blocs) et cette campagne de culture a été caractérisée par des attaques de parasites divers (rongeurs, termites) qui ont contribué à altérer la qualité des résultats. Le coefficient de variation au niveau des blocs est de 30% aussi bien pour le rendement en pailles que pour celui en grains ce qui limite fortement l'interprétation qu'il est possible de faire des résultats.

4. CONCLUSION

Pour freiner la déforestation des zones tropicales humides, il faut en intensifier l'agriculture, afin d'éviter l'extension de la culture itinérante, système de culture qui, pour rester reproductible, nécessite une courte période de culture encadrant une vingtaine d'années de jachère. La culture itinérante devient destructive du milieu lorsque la durée de jachère ne peut plus être respectée en particulier sous l'effet de la pression démographique. Deux objectifs sont donc à poursuivre : intensifier pour moins défricher (ici rôle de l'engrais) et maintenir la fertilité tout en réduisant le temps de jachère et en proposant des solutions attractives et réalistes pour le paysan.

Le rôle de l'arbre dans les défis de l'agriculture tropicale est essentiel depuis la plantation de vivriers ou de culture de rentes dans des clairières forestières jusqu'à la culture en couloir en passant par la mise en place de haies brises vent ou de "jachères relais" comme l'ont inventorié Peltier et coll. (1988, 1993).

La faisabilité des systèmes basés sur la culture en couloir, après des débuts prometteurs (Kang et coll. 1981) paraît controversée car la pénibilité du travail et les contraintes de calendrier liés à la gestion des émondes (Rao 1994) rebutent les paysans. De plus le parasitisme (rongeurs, oiseaux) (Schroth et coll. 1992 ; Schroth 1993) associé à la présence des haies pourrait masquer les effets bénéfiques des haies sur la fertilité du sol surtout visibles à long terme, ne serait-ce que par le rôle des haies sur la prévention

des risques d'érosion (Young 1989). Il est donc nécessaire, tout en cherchant à améliorer les conditions de mise en oeuvre du système de "cultures en couloir" de proposer aux paysans des solutions de rechange à la pratique de la culture sur brûlis forestier.

En centre Côte d'Ivoire, l'introduction de la jachère arborée paraît être une alternative viable pour permettre sinon une amélioration du moins le maintien de la fertilité des terres tout en assurant une occupation du terrain synonyme de "droit d'occupation des terres" et de revenus pour le paysan. Elle permettra par ce biais une fixation de l'agriculture et une régression des brûlis forestiers.

Les apports chimiques par la jachère de légumineuse arborée ne sont pas spectaculaires et limités à l'enrichissement de la couche superficielle mais il faut certainement juger sur une longue période l'effet des apports conséquents de matière organique qui résulte de l'abattage des ligneux.

La mise en évidence d'une valorisation des effets de l'engrais par le mulch mérite d'être prise en compte pour la production vivrière au cas où cet investissement serait possible. Il permettrait, en évitant le brûlis, de limiter les pertes en azote et matières organiques considérables occasionnées par cette pratique. Toutefois, les résultats de la première culture ayant montré que le brûlis accroît le rendement la première année, et qu'il diminue la pénibilité du travail de préparation des parcelles, il faudra contrebalancer d'éventuels effets néfastes à long terme par des résultats contrastés et incitatifs pour espérer faire adopter le mulch comme une technique rentable de gestion des parcelles.

L'impact de la jachère naturelle sur la production du maïs est équivalent à celui de la jachère de légumineuses arborées, moins exigeante en main d'oeuvre, elle reste donc un système convenablement adapté à une productivité moyenne, et ce en sols fertiles car dans le cas des sols dégradés même des jachères de courte durée améliorent la production des cultures (Hien et coll. 1991) et les caractéristiques analytiques du sol (Roose 1991). La jachère de légumineuses arborées présente aussi l'avantage pour le paysan d'assurer par la vente des bois, ou de leurs produits de transformation, une source de revenus qui sera d'autant plus importante que la demande en combustible sera élevée.

La litière d'*Albizia lebbek* paraît très intéressante pour améliorer les propriétés chimiques du terrain mis en jachère : les apports d'azote semblent relativement élevés, la fixation biologique est la plus efficiente parmi les quatre espèces testées et surtout les quantités de phosphore qu'elle permet de restituer au sol sont plus importantes que pour les autres espèces alors que ces deux éléments sont très certainement les facteurs chimiques les plus limitants de la production dans cette zone.

A contrario, l'introduction d'*Acacia auriculiformis* ne paraît pas à recommander, au moins du strict point de vue des conséquences agronomiques de sa culture car il appauvrit le sol en azote, ses performances vis-à-vis de la symbiose arbre-rhizobium sont très médiocres et apparemment il modifie défavorablement les propriétés physiques de la couche superficielle. Les performances globales de *Leucaena leucocephala* sont à peu près équivalentes à celles de **AL** mais il a tendance à envahir les parcelles par semis spontané et on peut s'interroger sur le danger de la diffusion à grande échelle d'une espèce apparemment aussi difficilement maîtrisable.

Le cas du choix d'*Acacia mangium* est assez délicat car, si pour **AA** tous les indicateurs concordent pour prouver qu'il appauvrit le sol et diminue la production du maïs, la fixation biologique de l'azote sous **AM** est intermédiaire et sa production de bois intéressante mais ce n'est pas un précédent très favorable à la culture du maïs.

Il reste donc, après cet état "de départ" des divers itinéraires techniques à juger de l'effet à long terme des pratiques testées. Si l'on en croit les résultats de l'essai "**jachère arborée 88**", la productivité, dans le cas d'Oumé, reste, tout en diminuant, acceptable pendant plusieurs années et il sera donc difficile de conclure sans un suivi à long terme des dispositifs mis en place. Dès à présent, les résultats acquis montrent qu'il serait nécessaire de concilier les conséquences sur la fertilité du terrain et les impératifs du forestier pour obtenir un système le plus performant possible. Le rôle des sélectionneurs mais aussi des biologistes du sol serait essentiel pour rechercher des variétés ou créer des hybrides alliant une bonne production de bois, une fixation biologique de l'azote convenable, des retombées biologiques par les litières et les résidus d'abattage les plus élevées possibles et des conséquences favorables sur la vie biologique et l'état du profil cultural. Pour cela, un dispositif tel que celui actuellement en place pourrait être un point d'étude privilégié.

BIBLIOGRAPHIE

ARNOUD - BUDELMAN, 1988. The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemengia macrophylla* under humid tropical conditions - Agroforestry systems 7: p. 33-45.

BERNARD M., GBAGUIDI B., PADONOU E., 1992 - Effet combiné de *Cassia siamea* et d'engrais minéraux sur la production de maïs sur terre de Barre dégradée en milieu réel. document multigraphié 15 pages.

BERNHARD - REVERSAT F., DIANGANA D., TSATA M., 1993. Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'*Acacia Mangium* et *A. Auriculiformis* au Congo. - Bois et forêts des Tropiques : 238 p. 35-43.

CAILLEZ F., LAROUSSINE O., 1993 - L'aménagement des forêts tropicales et la recherche - La Jaune et la Rouge, nov.93 - p. 30-33.

CHAMINADE R., 1965 - Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation. Mise au point technique - Résultats. - L'Agron. Trop. N° 11: p1101 - 1162

CHRISTENSEN B.J., 1992 - Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. pp 1-90 *In* "Advances in Soil Science" Vol 20, Springer-Verlag, New-York

CLEMENT J., 1970 - Rapport d'activités de la station d'expérimentation forestière d'Oumé de 1965 à 1969 - Doc. multigraphié 93 pages

COMIFER 1987 - Glossaire des termes ...

DABIN B., 1967 - Analyse du phosphore assimilable dans les sols tropicaux. - Cah. ORSTOM série Pédol. 5 : p 278-286.

DOMERGUES Y., MANGENOT F., 1970 - Ecologie microbienne des sols. Paris, Masson, 795 pages

EGOUMENIDES Ch., 1990 - Fractions de l'azote organique dans les sols tropicaux et fertilité azotée *In* Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales, Montpellier, IRAT Editeur p. 317-321.

ESCANO C.R., JONES C.A., UEHARA G., 1981. Nutrient diagnosis in corn on Hydric Distrandepts : I. Optimum tissue nutrient concentration. - Soil sci. soc. am. j., 45 : p. 1135-1139

ESCANO C.R., JONES C.A., UEHARA G., 1981. Nutrient diagnosis in corn on Hydric Distrandepts : II. Comparison of two systems of tissue diagnosis. - Soil sci. soc. am. j., 45 : p. 1140-1144

FALLAVIER P., BABRE D., BREYSSE M., 1985 - Détermination de la capacité d'échange cationique des sols tropicaux acides. - Agron. Trop. 40 : p 298-308

FELLER C., BURTIN G., GERARD B., BALESDENT J., 1991 - Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêt et limites. Science du sol. 29(2) : p 77-94

FELLER C., 1993 - Organic inputs, soil organic matter and fonctionnal soil organic compartments in low activity clay soils in tropical zones. pp 77-78 /in K. Mulongoy et R. Merckx (eds.). Soil organic matter dynamics and subtainability of tropical agriculture. 392 p. J. Wiley-Sayce, Chichester

GUIRAUD g. 1984 - Contribution du marquage isotopique à l'évaluation des tranferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante. - Thèse de Doctorat d'Etat. Université Pierre et Marie CURIE. PARIS 6. 335 pages.

GUTTERRIDGE R.C., 1992 - Evaluation of the leaf of the range of tree legumes as a source of nitrogen for crop growth. - Expl. Agric. 28 : p 195-202

HARDY R.W.F., HOLSTEN R.D., JACKSON E.K., BURNS R.C., 1968 - The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation : Laboratory and field evaluation . - Plant Physiol. 43 : p 1185-1207

HIEN V., SEDOGO M.P., 1991 - Etude des effets des jachères de courte durée sur la production et l'évolution des sols dans différents systèmes de culture du Burkina Faso. /in La jachère en Afrique de l'Ouest - Atelier International Montpellier (France) 2-5 /12/ 1991p 221-232

ICRAF, 1992 - Rapport annuel 1991- programme 4 - agroforestry system improvment : p72-92 -148 pages -Nairobi (Kenya)

KANG B.T., WILSON G.F., SIPKENS L., 1981 - Alley cropping maize (*Zea mays* L.) an leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam) in southern Nigeria. - Plant and Soil 63: p 165-179

LOUE A., 1965. Le diagnostic foliaire du maïs (méthodologie, état actuel des connaissances, utilisation) Inst. Int. Potasse 4ème Colloque Belgrade p. 105-116.

MERCIER J.R., 1991. La déforestation en Afrique, EDISUD, 178 p.

NIAMAIO D., 1992. Investigations ou décomposition of foliage of woody species using a perfusion method - Plant and soil 139 : p. 239-245.

PELTIER R., EYOG-MATIG O., 1988 - Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun - Bois et forêts des tropiques N° 217 : p 3-31

PELTIER R., BALLE P., 1993 - De la culture itinérante sur brûlis au jardin agroforestier, en passant par les jachères enrichies - Bois et Forêts des Tropiques : sous presse

RAMADE F., 1989. Eléments d'Ecologie, écologie appliquée, Mc. GRAW et HILL, 579 p.

RAO M.R., 1994 - Agroforestry for sustainable soil management in humid and sub-humid tropical Africa - IBSRAM planning workshop on "Strategies for the Management of Uplands Soils of Himid and Sub-humid Tropical Africa" - 6-9 Avril 1994, Abidjan (Côte d'Ivoire) : sous presse

ROOSE ■ 1991- Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne. /in La jachère en Afrique de l'Ouest - Atelier International Montpellier (France) 2-5 /12/ 1991p 233-245

SCHROTT G., ZECH W., KANCHANAKANTIN., 1992 - Rapport périodique d'avancement des travaux - projet CEE DG XII STD 002/1145. - Doc multigraphié 52 pages.

SCHROTT G. 1993 - Rapport périodique d'avancement des travaux - projet CEE DG XII STD002/1145. - Doc multigraphié 26 pages.

SIBAND P., 1974 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. - Agron. Trop. 29 : P 1228-1248

STEWART B.A., PORTER L.K., JOHNSON D.D., 1963. Immobilization and mineralization of nitrogen in several organic fraction of soil. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27, p. 302-304

WARING S.A. ; BREMNER J.M., 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability - Nature, 4922, p. 951-952.

YOUNG A., 1989 - Agroforestry Practices for erosion control. pp 59-77 *In* Agroforestry for soil conservation 276 p. CAB International, Walingford